

# grandparis aménagement

## ETUDE D'IMPACT DE LA ZAC DU TRIANGLE DE GONESSE (95)

### ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIES RENOUVELABLES DE LA ZAC DU TRIANGLE DE GONESSE

Suite à la transmission de l'ETAT INITIAL le 28/11/23 et à l'IND0 de la présente étude le  
02/05/24



INDICE 0 : Version initiale – 1<sup>ère</sup> diffusion 02/05/24 – Rédactrice : Léa FREY, Validation : Nicolas FOUBERT  
INDICE 1 : Version modifiée du 11/07/24 – Rédactrice : Léa FREY, Validation : Nicolas FOUBERT

**Date de rédaction : Juillet 2024 – IND. 1 - LF/NF**

# Contenu

## Table des matières

I.	Périmètre de l'étude et objectifs .....	3
1.	Le Grand Roissy .....	3
2.	La ZAC Triangle Gonesse .....	3
3.	Les enjeux énergétiques .....	5
II.	Etude des besoins énergétiques propres à la zone .....	6
1.	Méthode d'évaluation des besoins énergétiques .....	6
2.	Méthode d'évaluation des puissances .....	7
3.	Répartition des besoins énergétiques .....	8
4.	Répartition des besoins en puissance .....	10
III.	Les Energies renouvelables et fatales applicables .....	12
1.	Panorama des énergies renouvelables et fatales .....	12
2.	Démarche En'R Choix .....	14
3.	Perspectives d'intégration des énergies renouvelables .....	15
IV.	Les scénarii d'approvisionnement étudiés .....	23
V.	Description détaillée des scénarii .....	24
1.	Méthodologie .....	24
2.	Description technique des scénarii .....	24
4.	Production d'électricité par mise en place d'installations photovoltaïques .....	30
VI.	Analyse comparative des scénarii .....	31
1.	Méthodologie et hypothèses .....	31
a)	Critères énergétiques .....	31
b)	Critères économiques .....	31
c)	Critère environnemental .....	33
2.	Résultats / Comparaison Critères énergétiques .....	34
a)	Consommations en énergie finale .....	36
b)	Consommations en énergie primaire .....	37
c)	Energie achetée .....	38
a)	Taux d'approvisionnement en énergies renouvelables .....	39
3.	Résultats / Comparaison Critères économiques .....	40
4.	Résultats / Intégration du solaire photovoltaïque .....	43
5.	Résultats / Critère environnemental d'impact Carbone .....	44
6.	Synthèse des résultats .....	46
VII.	Conclusion .....	47

# I. Périmètre de l'étude et objectifs

## 1. Le Grand Roissy

Le territoire du Grand Roissy (50 communes, 711 000 habitants) est marqué par la présence des deux aéroports de Roissy et du Bourget. Il s'est développé par plaques monofonctionnelles desservies par des infrastructures structurantes qui assurent une bonne liaison avec la capitale tout en créant des effets de coupure et des nuisances : autoroutes, lignes hautes tensions, plan d'exposition au bruit par exemple.

Marqué par la prédominance des activités logistiques et aéroportuaires, son dynamisme économique bien qu'infléchi depuis la crise de 2008 est avéré ; toutefois le taux d'emploi est globalement faible dans de nombreuses communes avec des niveaux de qualification des emplois déconnectés des besoins d'une population assez fragile.

Face à ces enjeux, le territoire nourrit l'ambition de faire du Grand Roissy une place aéroportuaire dynamique et attractive pour ses habitants et les entreprises en agissant notamment sur la diversification des activités et des emplois.

Le développement du secteur du Triangle de Gonesse, bien que profondément repositionné dans sa programmation et son ampleur depuis 2019, participe de cette attractivité puisqu'il devra accueillir des fonctions métropolitaines, des lieux de formation et offrir des emplois de proximité.

C'est dans ce cadre que Grand Paris Aménagement est aujourd'hui maître d'ouvrage du développement d'un projet d'aménagement sur une zone de 110 ha au nord du Boulevard Interurbain du Parisis.

## 2. La ZAC Triangle Gonesse

Le projet de la ZAC du triangle de Gonesse s'inscrit dans le territoire plus large du Triangle de Gonesse. Ce territoire d'environ 1000 ha s'étend sur les communes de Gonesse et de Roissy, entre les autoroutes A1 et A3 et la RD 317 appelée autrefois Route des Flandres. Il est situé entre les aéroports du Bourget et de Paris - Charles-de-Gaulle, à 20 minutes de Paris et à 10 minutes de Roissy.

La ZAC du Triangle de Gonesse s'étend sur un périmètre de 299ha, dont 110ha au Nord du Boulevard Interurbain du Parisis (BIP) et 189 ha au Sud. Le périmètre de la présente étude concerne l'actualisation de la zone de **110 ha** au Nord.

Cette zone est située au croisement de plusieurs dynamiques et échelles territoriales, que le projet doit articuler en termes de formes urbaines, programme et espaces publics.

L'objectif est d'encadrer et maîtriser le développement de ce secteur en élaborant un projet d'aménagement d'ensemble cohérent et responsable. Ce projet d'aménagement sera basé sur 3 objectifs complémentaires : sobriété dans l'usage de la ressource, construction d'un écosystème durable, mutabilité du projet dans le temps.

L'un des enjeux majeurs de ce projet et du quartier réside dans le changement d'image, porté par l'actualisation de l'ancien projet d'aménagement de la ZAC, Europa City, dont la version initiale a été largement controversée.

LA ZAC du Triangle de Gonesse EN QUELQUES CHIFFRES pour cette étude :

- Environ 110 ha de foncier brut, dont 84 ha de foncier disponible
- SDP Totale de 503 588 m<sup>2</sup> environ dont :
  - 75 761 m<sup>2</sup> de services et commerces (15%\*)
  - 287 827 m<sup>2</sup> d'équipements (57%\*)
  - 140 000 m<sup>2</sup> de surface industrielle (28%\*)

\* Pourcentage des surfaces par rapport à la surface totale des constructions



Figure 1 : Triangle de Gonesse dans le territoire

La programmation attendue sur la ZAC est majoritairement portée sur des équipements et activités économiques à haute valeur ajoutée. Le nouveau quartier doit donc être porteur d'une véritable qualité d'aménagement public, de transports, d'aménités paysagères... Au nord, le périmètre jouxte une Zone Agricole Protégée (ZAP). Une lisière agricole verra dans le jour, jouant le rôle d'espace tampon entre la ZAC et les cultures.

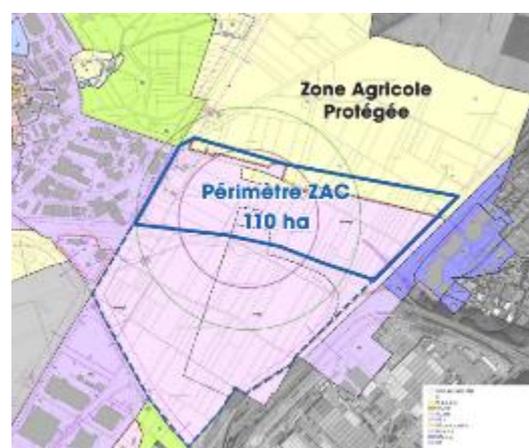


Figure 2 : Périmètre de la ZAC



Figure 3 : La ZAC et ses principaux aménagements – extrait du Plan Guide

La ZAC sera donc majoritairement composée d'équipements (bureaux/administrations) et d'activités économiques, et comprendra une cité scolaire et un centre culturel (CNAREP).

Le détail de la programmation des activités économiques n'étant pas encore arrêté, des hypothèses sur la répartition des surfaces par îlots de la ZAC du Triangle de Gonesse ont été prises. La figure 4 ci-après détaille les surfaces projetées.

Hypothèses considérées :

- Lot A – Industrie : la surface d'équipements représente 1/3 de la surface totale du lot ;
- Lot B : Mixte / prototypage : la surface d'équipements représente 2/3 de la surface totale du lot, et celle de commerces représente 1/3 de la surface totale du lot ;
- Cité Scolaire : le nombre d'étudiants y logeant est de 200, dans des logements de type studio de 15 m<sup>2</sup>.

Îlot		Foncier	Logements		Equipements / Bureaux	Commerces
			Nb	Sdp	Sdp	Sdp
Lot A - Industrie		Privé	0	0 m <sup>2</sup>	70 001 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
Lot B - Mixte / prototypage		Privé	0	0 m <sup>2</sup>	144 204 m <sup>2</sup>	72 102 m <sup>2</sup>
Lot C - Tertiaire		Public	0	0 m <sup>2</sup>	41 179 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
Equipements	Cité scolaire, Gymnase	Public	200	3 000 m <sup>2</sup>	29 334 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
	CNAREP	Public	0	0 m <sup>2</sup>		0 m <sup>2</sup>
Total			200	3 000 m <sup>2</sup>	284 718 m <sup>2</sup>	72 102 m <sup>2</sup>
						359 820 m <sup>2</sup>

Figure 4 : Tableau récapitulatif des surfaces par type de bâtiment et par îlot

### 3. Les enjeux énergétiques

**Quelles énergies** et quels systèmes techniques associés pour alimenter environ 360 000 m<sup>2</sup> de bâti, principalement à usage d'équipements, à l'horizon 2035 ?

Comment intégrer une part significative d'énergies **renouvelables** ou **fatale** dans le mix énergétique propre à ce nouveau quartier ?

Quel est le choix le plus respectueux de l'environnement et le plus viable économiquement pour les opérateurs devant construire et s'installer sur le territoire ?

Ces 3 questions résument les principaux enjeux pour l'approvisionnement énergétique de la ZAC du Triangle de Gonesse.

ENJEUX ENERGETIQUES ET OBJECTIFS DE L'ETUDE :

- Comparer les solutions énergétiques exploitables sur le site de façon indépendante
- Identifier le mix énergétique intégrant les énergies renouvelables ou fatales disponibles sur cette zone et économiquement viable
- Disposer d'un taux de couverture des besoins en énergie des bâtiments de la ZAC
- Définir les possibilités de planification voire de « montée en charge » du mix énergétique afin de pouvoir programmer les investissements concomitamment avec l'ordre d'entrée en jeu des opérateurs en charge de la construction des lots

## II. Etude des besoins énergétiques propres à la zone

### 1. Méthode d'évaluation des besoins énergétiques

Pour l'estimation des besoins énergétiques, nous utilisons en général les valeurs moyennes extraites d'études thermiques réalisées sur des opérations similaires avec des usages identiques.

Pour autant, il est à noter que la mise en place progressive de la RE2020, démarrée début 2022 pour les logements neufs et à partir de mi-2022 pour les activités tertiaires, impacte fortement la thermique des ouvrages et leurs besoins énergétiques.

Ainsi, la programmation prévue pour la ZAC TRIANGLE DE GONESSE étant de la construction neuve, et au regard de la planification prévisionnelle de déploiement du quartier, il a été considéré une performance des bâtiments RE2020 seuil 2025 -12%.

#### LA RE2020 : VERS DES BATIMENTS A ENERGIE POSITIVE

Les Bâtiments à Energie Positive sont des bâtiments qui produisent plus d'énergie (électricité, chaleur...) qu'ils n'en consomment, en moyenne globale.

Si la RT2012 prend en compte uniquement 5 usages liés au bâtiment (Chauffage, Refroidissement, Production d'Eau Chaude Sanitaire, Eclairage et Auxiliaires dont pompes, ventilateurs...), la RE2020 prend en compte des usages supplémentaires liés aux appareils électriques et électroménagers ainsi qu'aux services généraux. Ce périmètre élargi permet de rapprocher les consommations théoriques des réelles.

Néanmoins, étant donné qu'il est régulièrement constaté un écart entre les études réglementaires et les consommations réelles des bâtiments en fonctionnement, une approche prudentielle a été observée pour l'évaluation des besoins : ainsi, une marge de correction par rapport aux valeurs issues des 1ers retours d'expérience des études thermiques réglementaires RE2020 a été prise. **Celle-ci représente environ +60% / consommations conventionnelles réglementaires converties en énergie finale.**

Les ratios de besoins énergétiques pris en compte pour les différents usages dans le cadre de la présente étude sont précisés dans le tableau ci-dessous.

(en kWh <sub>ef</sub> /m <sup>2</sup> /an)	Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Ventilation	Auxiliaires	Total
Logements collectifs	34	0	22	2	2	2	62
Education	23	19	0	10	11	2	65
Commerces	23	86	0	130	10	2	251
Culture	23	19	0	11	5	1	59
Bureaux	19	22	0	11	5	1	58

Figure 5 - Besoins en énergie finale (kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an) utilisés pour les usages réglementaires – Cas de base

Par ailleurs, étant donné que la programmation des activités économiques de la ZAC n'est pas encore arrêtée, et que celle-ci peut avoir une influence non négligeable sur les besoins énergétiques de ces bâtiments, il a été choisi d'étudier, en parallèle du cas de base, deux variantes de besoins énergétiques liés à l'activité Commerce :

- **Cas de base** : activité commerciale de type « Commerce de détail », basée sur les besoins présentés dans la figure 5 ci-dessus.
- **Variante 1** : activité commerciale présentant des besoins en Chauffage et Refroidissement majorés et plus importants que le cas de base.
- **Variante 2** : activité commerciale de type « Entreposage », présentant des besoins en Chauffage et Refroidissement plus faibles que le cas de base.

Ces ratios, fonctions du type d'activité commerciale, ont été établis suivant les facteurs suivants :

		Chauffage	Refroidissement
Facteurs à appliquer aux ratios énergétiques du cas de base	Variante 1 – besoins majorés	x 2	x 3
	Variante 2 – besoins minorés (activité type Entreposage)	x 0,3	x 0,1

Figure 6 : Facteurs multiplicatifs à appliquer - Variantes

Source: « CONSOMMATION ENERGETIQUE PAR ACTIVITE DU SECTEUR TERTIAIRE en 2017, 2018, 2019 et 2020 » - CEREN - /www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-tertiaire

Le tableau ci-dessous détaille les ratios calculés et appliqués pour les variantes 1 et 2 :

(en kWh <sub>ef</sub> /m <sup>2</sup> /an)		Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Ventilation	Auxiliaires	Total
Commerces	Variante 1	46	258	0	150	10	2	466
	Variante 2	6	11	0	80	10	2	110

Figure 7 : Besoins en énergie finale (kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an) utilisés pour les usages réglementaires liés à l'activité de Commerce - Variantes

Enfin, à noter que les besoins en ECS des bâtiments non résidentiels étant minimes, ils ont été considérés dans tous les scénarii comme négligeables. Ils vont en effet jouer un rôle anecdotique pour le dimensionnement et le choix des solutions techniques en énergie pour les zones non résidentielles et seront vraisemblablement traités par des solutions conventionnelles avec une réflexion sur la nécessité de disposer de systèmes à accumulation ou à production instantanée.

## 2. Méthode d'évaluation des puissances

Pour l'estimation des puissances appelées en chaud et en froid, variables sur l'année, les ratios utilisés sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

W/m <sup>2</sup>	Chauffage	Refroidissement
Logements collectifs	48	0
Education	48	26
Commerces	67	43
Bureaux / Culture	48	26

Figure 8 – Ratios de puissance adaptés à Gonesse – Cas de base

A noter que les valeurs de puissance sont des valeurs dimensionnantes pour évaluer les capacités des équipements associés aux différents scénarii étudiés. Cette affectation d'équipements techniques à chaque scénario permet ensuite la comparaison économique des différentes solutions. A contrario, une réévaluation des puissances propres à chaque opération sera nécessaire sur la base des caractéristiques précises des projets de bâtiments dans les phases de conception et c'est sur cette base là que le dimensionnement des équipements et des émetteurs associés pourra être effectué.

Ces ratios ont été adaptés à Gonesse en utilisant les degrés-jours unitaires chaud et froid de Roissy (station météo la plus proche).

De même que pour l'évaluation des besoins énergétiques, il a été choisi d'étudier deux variantes de puissances appelées pour l'activité Commerce :

- **Cas de base** : activité commerciale de type « Commerce de détail », basée sur les besoins en puissance présentés dans la figure 8 ci-dessus.
- **Variante 1** : activité commerciale présentant des besoins en puissance Chauffage et Refroidissement plus importants que le cas de base.
- **Variante 2** : activité commerciale de type « Entreposage », présentant des besoins en puissance Chauffage et Refroidissement plus faibles que le cas de base.

Les ratios de besoins en puissance appliqués dans le cadre des variantes 1 et 2 sont les suivants :

W/m <sup>2</sup>		Chauffage	Refroidissement
Commerces	Variante 1	80	50
	Variante 2	48	26

Figure 9 : Ratios de puissance appliqués à l'activité de Commerce - Variantes

### 3. Répartition des besoins énergétiques

Les besoins énergétiques totaux (cas de base) pour les usages réglementaires de l'ensemble des opérations prévues sur la ZAC Triangle de Gonesse sont évalués à :

**36 763 MWh** pour les surfaces prises en compte dans l'étude

Si l'on considère seulement les besoins énergétiques requis pour le chauffage, le refroidissement ou le rafraîchissement et l'ECS, les besoins évalués s'élèvent à :

**20 030 MWh**

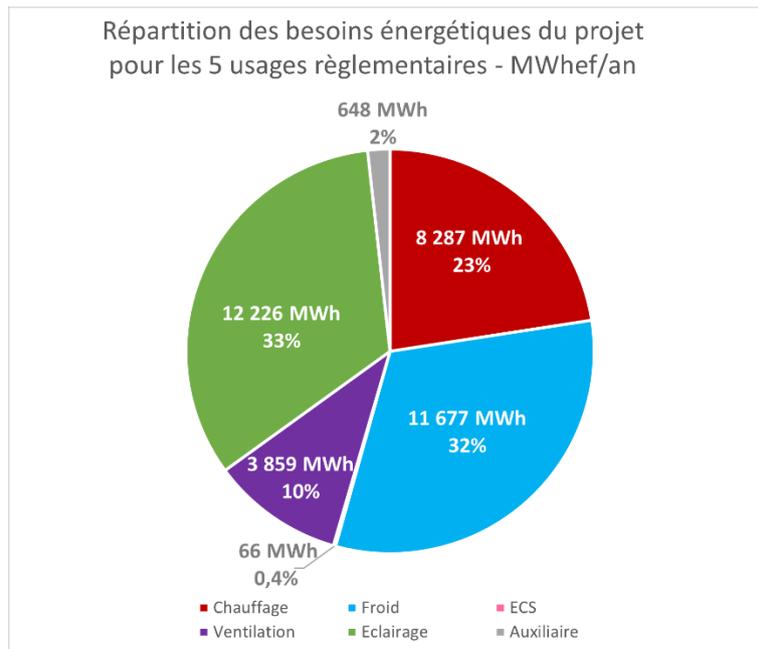


Figure 10 : Evolution des besoins énergétiques pour tous les usages réglementaires – Cas de base

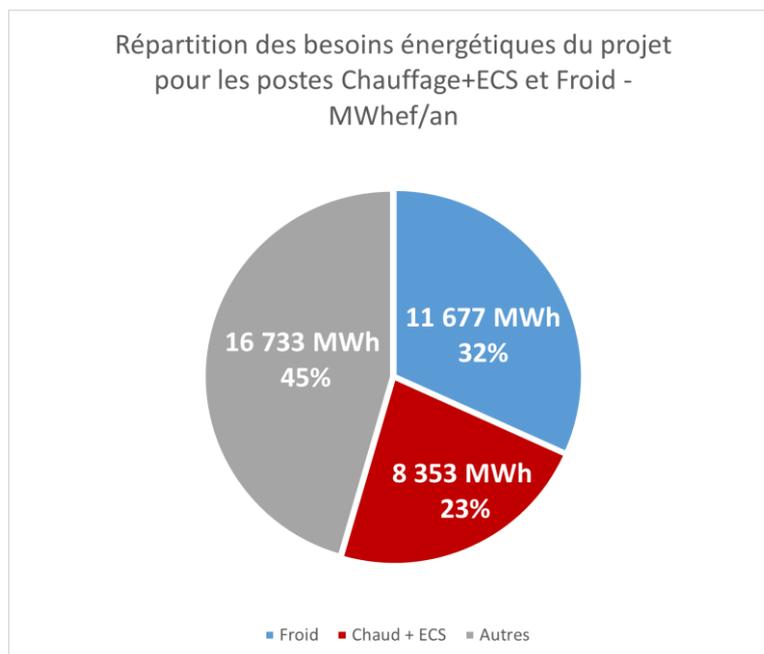


Figure 11 : Répartition des besoins énergétiques pour le chaud et le froid – Cas de base

Les besoins en éclairage, froid et chauffage sont prédominants. Ceci est lié à la programmation de la ZAC puisque les surfaces de bureaux et commerces de ce futur quartier sont majoritaires, et possèdent des besoins importants sur ces postes. Les besoins en ECS ne représentent quant à eux que moins d'1% des besoins totaux, étant liés aux faibles surfaces de logements. Les besoins du poste Ventilation représentent également une part non négligeable de 10% de la répartition.

Ci-après les résultats de l'étude des variantes sur les besoins énergétiques, basée sur une modulation des besoins liées à l'activité Commerce :

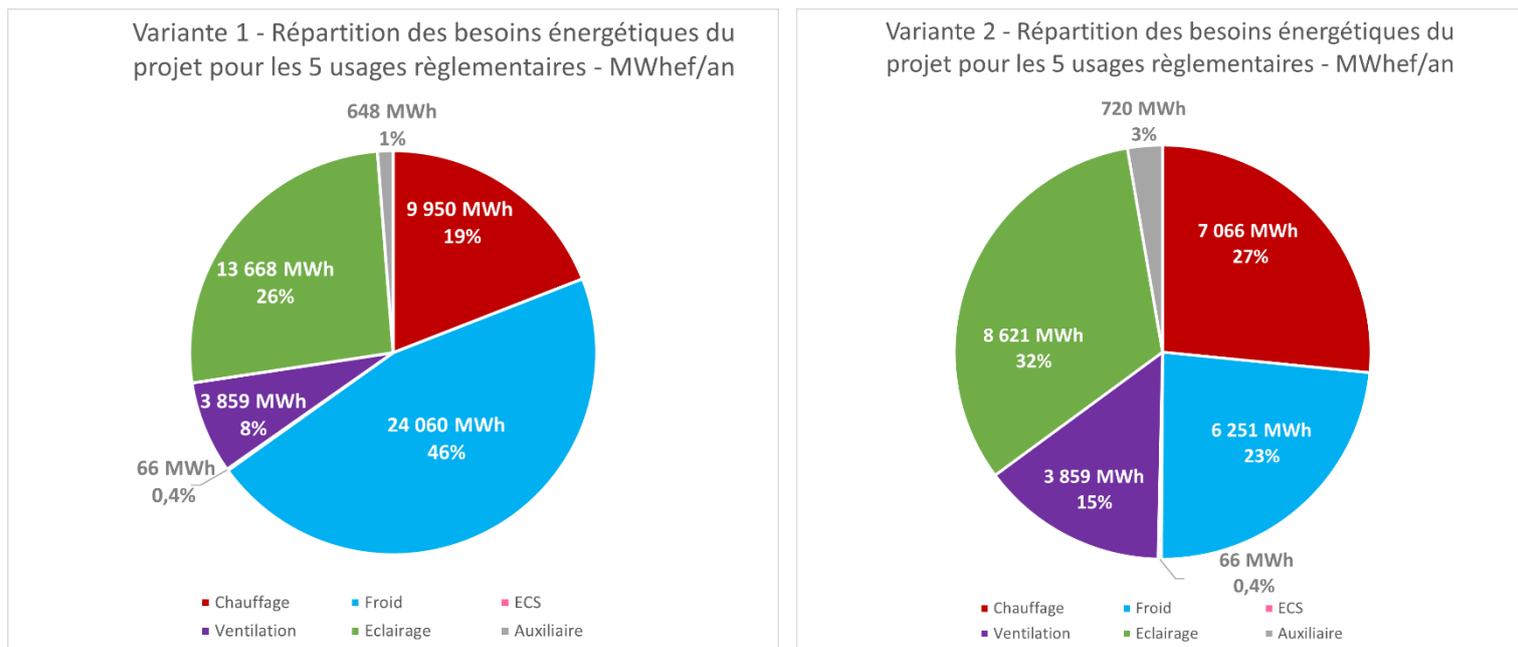


Figure 12 : Comparaison de la répartition des besoins énergétiques - Variantes

Besoins énergétiques totaux pour l'ensemble de la ZAC :

- Variante 1 : **52 323 MWh/an**
- Variante 2 : **26 456 MWh/an**

Besoins énergétiques liés au chauffage, refroidissement/ rafraichissement et ECS pour l'ensemble de la ZAC :

- Variante 1 : **34 076 MWh/an**
- Variante 2 : **13 420 MWh/an**

Lorsque l'on considère la variante 1, basée sur une activité commerciale présentant des besoins énergétiques plus important que le cas de base, on constate que les besoins énergétiques totaux de la ZAC en sont évidemment impactés et sont plus importants que le cas de base.

De la même manière, les besoins énergétiques de la ZAC dans le cas de la variante 2 sont plus faibles que le cas de base, car amoindris par la baisse des besoins liés à l'activité commerciale d'entrepasage.

## 4. Répartition des besoins en puissance

Les besoins en puissance une fois l'ensemble des livraisons de la ZAC réalisées, sont représentés sur les graphes ci-après :

Pour ces usages respectifs, concernant les besoins en puissance (cas de base) sont :

Au total, les besoins en puissances atteignent environ **18 572 kW pour le chauffage et pour l'ECS**, et **10 613 kW en froid** pour l'ensemble de la ZAC.

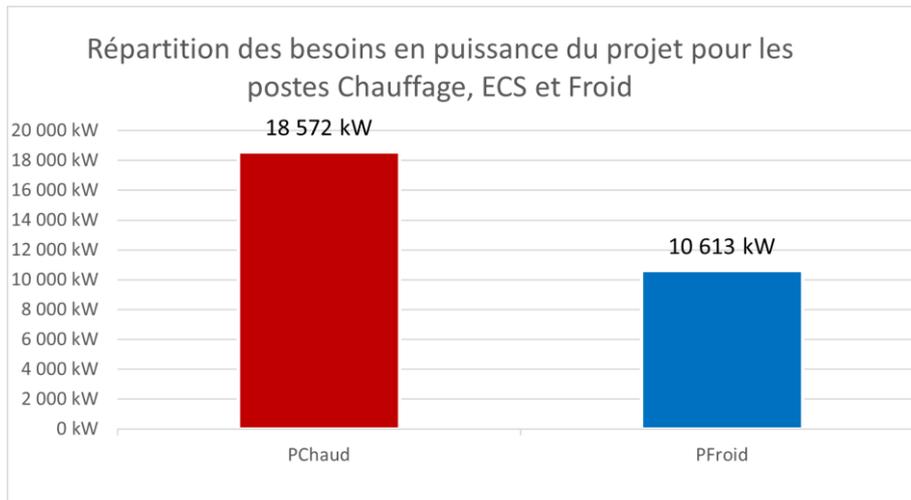


Figure 13 : Répartition de la puissance Chaud/Froid appelée de la ZAC – Cas de base

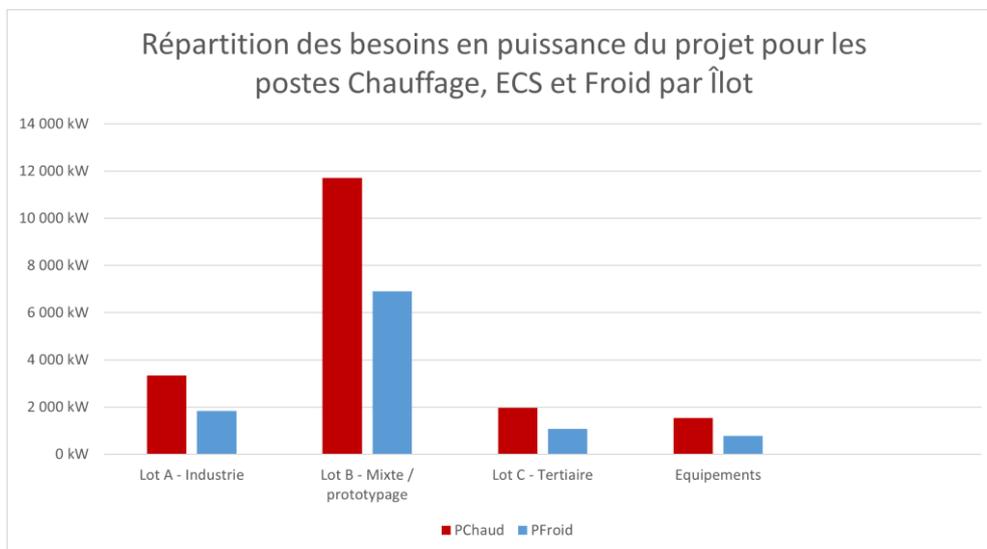


Figure 14 : Répartition par îlot de la puissance Chaud/Froid appelée – Cas de base

Nous rappelons que les besoins en ECS des bâtiments non résidentiels de la ZAC ont été considérés comme négligeables. Sur base de la programmation de la ZAC (majorité de surface de bureaux et d'équipements), les besoins de puissance en chaud ont été estimés à 2/3 des besoins totaux et 1/3 pour les besoins en puissance froid.

Les résultats des besoins en puissances pour les variantes 1 et 2 sont synthétisés ci-dessous :

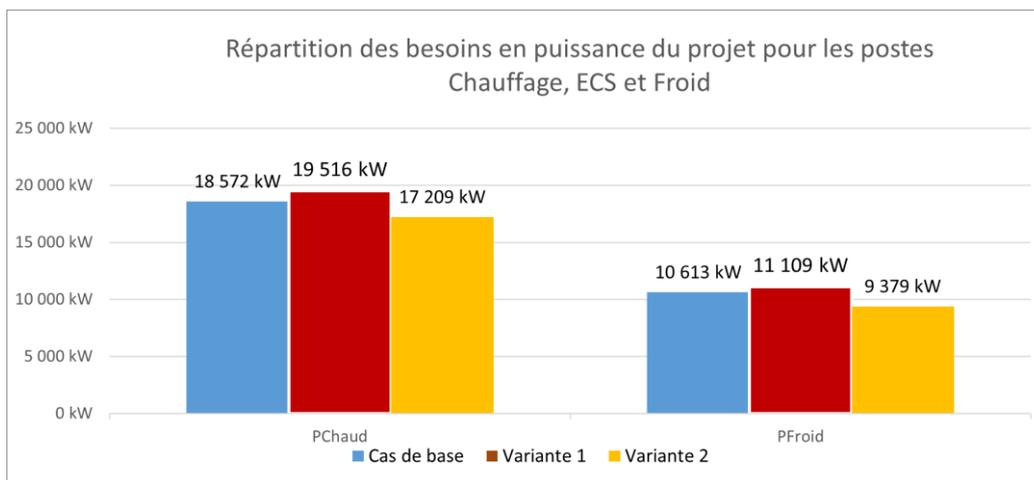


Figure 15 : Comparaison de la répartition de la puissance Chaud/Froid appelée de la ZAC - Variantes

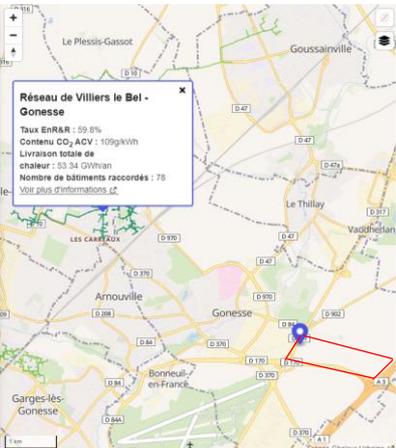
Pour le cas de la variante 1, basée sur une activité commerciale présentant des besoins en puissance plus important que le cas de base, on constate que les besoins en puissance Chaud et Froid de la ZAC en sont évidemment impactés et sont plus importants que le cas de base.

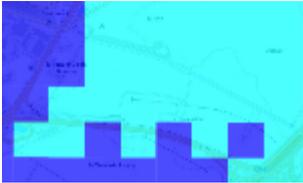
De la même manière, les besoins en puissance Chaud et Froid de la ZAC dans le cas de la variante 2 sont plus faibles que le cas de base, car amoindris par l'activité commerciale d'entrepôt.

**Rappel :** Une réévaluation des puissances propres à chaque opération sera nécessaire sur la base des caractéristiques précises des projets de bâtiments dans les phases de conception de Maîtrise d'œuvre et c'est sur cette base là que le dimensionnement des équipements et des émetteurs associés pourra être effectué.

### III. Les Energies renouvelables et fatales applicables

#### 1. Panorama des énergies renouvelables et fatales

TYPE D'ENERGIE	CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE	APPLICABLE OU ADAPTE AU PROJET ?
<p><b>Solaire Thermique</b></p> 	<p><b><u>L'irradiation solaire annuelle et des températures extérieures.</u></b>  <b><u>Les contraintes d'inclinaison et d'orientation du matériel.</u></b>  <b><u>Les éventuelles zones d'ombrage :</u></b> arbres, bâtiments, reliefs naturels, ...largement préjudiciables pour la production d'électricité  <b><u>Les aspects réglementaires :</u></b> PLU, ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique), zones classées, zones Natura 200, réserves naturelles, autorisation de la Directions générale de l'Aviation civile, ...  <b><u>L'impact visuel :</u></b> Afin de limiter les impacts sur le paysage, des techniques d'intégration existent et se développent progressivement pour offrir un panel de solutions plus étendu aux utilisateurs et une meilleure intégration architecturale.</p>	<p><b>APPLICABLE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentiel solaire favorable</li> <li>- Une surface de toiture adéquate et un besoin en chaleur en font une énergie renouvelable à étudier.</li> <li>- <b>Des études de réverbération sont néanmoins à prévoir à cause de la proximité des aéroports du Bourget et de Roissy CDG.</b></li> </ul>
<p><b>Solaire Photovoltaïque</b></p> 	<p><b><u>L'irradiation solaire annuelle et des températures extérieures.</u></b>  <b><u>Les contraintes d'inclinaison et d'orientation du matériel.</u></b>  <b><u>Les éventuelles zones d'ombrage :</u></b> arbres, bâtiments, reliefs naturels, ...largement préjudiciables pour la production d'électricité  <b><u>Les aspects réglementaires :</u></b> PLU, ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique), zones classées, zones Natura 200, réserves naturelles, autorisation de la Directions générale de l'Aviation civile, ...  <b><u>L'impact visuel :</u></b> Afin de limiter les impacts sur le paysage, des techniques d'intégration existent et se développent progressivement pour offrir un panel de solutions plus étendu aux utilisateurs et une meilleure intégration architecturale.</p>	<p><b>APPLICABLE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentiel solaire correct (env. 1 189 kWh/an/m² estimés dans le précédent projet).</li> <li>- Pas de contrainte réglementaire rédhibitoire</li> <li>- Participation à la production décentralisée d'énergie et à la stabilisation du coût de l'énergie pour les usagers</li> <li>- Possibilité d'autoconsommation collective</li> <li>- <b>Des études de réverbération sont néanmoins à prévoir à cause de la proximité des aéroports du Bourget et de Roissy CDG.</b></li> </ul>
<p><b>Réseau de chaleur</b></p>  <p><i>Carte du réseau de chaleur existant</i></p>	<p><b><u>Présence d'un Réseau de chaleur existant</u></b></p> <p><b><u>Distance</u></b> au réseau raisonnable</p> <p><b><u>Compatibilité avec les besoins énergétiques à couvrir</u></b> et la <b><u>stratégie de développement</u></b> du gestionnaire du réseau</p>	<p><b>APPLICABLE SOUS RESERVE</b></p> <p>Il existe plusieurs réseaux de chaleur à proximité du site, cependant ils ne sont pas limitrophes ; ainsi, si la solution est retenue, un raccordement important devra être effectué.</p> <p>Le réseau de Villiers le Bel - Gonesse à 4km au sud (78 bâtiments raccordés, 59.8% ENR), l'un des plus proches, a fait l'objet d'une étude de faisabilité d'extension jusqu'à la ZAC de Gonesse dans son dernier Schéma directeur (07/02/24), et sera donc celui étudié.</p> <p><i>Données issues de la Plateforme VIASEVA.</i></p>
<p><b>Potentiel bois énergie</b></p> 	<p><b><u>Besoin énergétique constant</u></b></p> <p><b><u>Surface disponible</u></b> pour installer la <b><u>chaufferie</u></b> et le <b><u>silo de stockage</u></b> du bois, tous 2 devant être accessibles pour les livraisons</p> <p>L'établissement du compte d'exploitation prévisionnel</p>	<p><b>APPLICABLE</b></p> <p>Potentiel en approvisionnement bois suffisant dans la région.</p> <p>Voies routières importantes pour l'approvisionnement du combustible et pour les silos de stockage.</p> <p>Surface libre disponible.</p>
<p><b>Potentiel éolien</b></p> 	<p><b><u>Le vent :</u></b> conditions de vent minimales acceptables 6 m/s en moyenne, soit 21 à 25km/h  <b><u>Le relief :</u></b> facteur important pour l'implantation d'une éolienne. Les sites à proximité d'obstacles (arbres, bâtiments, escarpements ...) sont à proscrire car les vents y sont trop turbulents.  <b><u>Les contraintes et servitudes</u></b> (cas de parc éolien) / Servitudes hertziennes, de captage d'eau, aériennes, radars, zones, servitudes de moyens de transports, contraintes environnementales, contraintes d'accessibilité...  <b><u>L'impact visuel</u></b></p>	<p><b>NON APPLICABLE</b></p> <p>Vitesses et puissance des vents insuffisants, vents irréguliers.</p>

TYPE D'ENERGIE	CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE	APPLICABLE OU ADAPTE AU PROJET ?
<b>Potentiel Hydraulique</b> 	<p>Dénivelé et débit du cours d'eau ou du réseau d'eau potable ou pression suffisante dans le réseau.</p>	<p><b>NON APPLICABLE</b></p> <p>Absence de réseau d'eau potable avec un dénivelé.</p>
<b>Potentiel maritime</b> 	<p>Proximité de la mer (1,5 km) – pour les échanges thermiques</p> <p><u>Thalassothermie pour production de chaleur</u>  <u>Force de la houle pour la production d'électricité</u></p>	<p><b>NON APPLICABLE</b></p> <p><b>Thalassothermie / Force de la houle :</b>  L'opération se situe à une distance trop importante du bord de mer (140 km) et par conséquent, la technique est inexploitable.</p>
<b>Potentiel de récupération d'énergie fatale</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Diamètre de conduite supérieur à 140 mm et débit minimal par temps sec de 12l/s</u> (soit un bassin versant de collecte supérieur à 1800 EH).</li> <li>- <u>Température initiale des eaux usées</u> supérieure. à 10°C</li> <li>- <u>Distance entre l'échangeur et l'unité de production d'énergie</u> inférieure à 250 m.</li> <li>- <u>Accessibilité de la canalisation d'assainissement.</u></li> <li>- <u>Existence d'un tronçon rectiligne d'au moins 20m.</u></li> <li>- <u>Raccordement des eaux usées sur réseau séparatif</u> au niveau du site.</li> </ul>	<p><b>NON APPLICABLE</b></p> <p>La ZAC ne comprenant pas de logements, et la taille des équipements étant inconnu à ce stade et dépendant de la commercialisation, cette technique ne sera donc pas étudiée.</p>
<b>Potentiel géothermique</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: red; border: 1px solid black;"></span> Potentiel très faible de la ressource</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black;"></span> Potentiel faible de la ressource</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: green; border: 1px solid black;"></span> Potentiel moyen de la ressource</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: cyan; border: 1px solid black;"></span> Potentiel fort de la ressource</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black;"></span> Potentiel très fort de la ressource</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: grey; border: 1px solid black;"></span> Autre aquifère</li> </ul> <p><i>Carte du potentiel géothermique du site de la ZAC</i></p>	<p><u>Caractéristiques du terrain :</u> Exposition au soleil, revêtement en dur (terrasse, piscine, etc.), présence d'un lit de sable, pente du terrain, Surface de terrain (entre 1,5 et 3 fois la surface chauffée).</p> <p><u>Nature du sol,</u> place disponible pour l'installation des conduits.</p> <p><u>Conductibilité thermique du sous-sol :</u> la puissance d'extraction lui est directement proportionnelle. Plus le sol est uniforme, plus la conductivité est élevée.</p> <p><u>Humidité naturelle du sol :</u> elle améliore la conductibilité thermique et garantit un bon contact entre la sonde et le sous-sol.</p> <p><u>Présence d'eaux souterraines :</u> Lorsqu'une sonde géothermique pénètre dans une nappe phréatique dont la vitesse d'écoulement excède quelques centimètres par jour, la quantité de chaleur qu'il est possible d'extraire augmente sensiblement.</p>	<p><b>APPLICABLE</b></p> <p><b>« Très basse énergie »</b>  Le potentiel de ressources géothermales de surface <u>sur échangeur ouvert (nappe)</u> du site est fort. Des installations sont par ailleurs situées à proximité de la ZAC (1,5km).  Concernant la <u>géothermie sur échangeur fermé (sondes)</u>, le site se situe dans une zone réglementaire éligible à la GMI.</p> <p><b>« Basse énergie »</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une installation de géothermie profonde est située à environ 4km du site.</li> <li>- Sur le site de la ZAC, la côte altimétrique du toit du Néocomien est située à 700m pour une température d'eau estimée à 34°C. Ainsi, une installation de type doublet serait pertinente. Des contraintes pour ce type d'installation sont à prévoir : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Profondeur de forage importante</li> <li>- Exportation de la chaleur à étudier/rentabilité</li> <li>- Surface nécessaire environ 5000m<sup>2</sup>.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>La création de ce type de systèmes est envisageable.</b></p>
<b>Potentiel aérothermique</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Des <u>besoins en chaud ou froid</u> du projet.</li> <li>- La <u>température du milieu extérieur</u> (air ou eau).</li> </ul>	<p><b>APPLICABLE</b></p> <p><b>Aérothermie :</b> Utilisation de Pompes à Chaleur réversibles Air/Eau ou Air/Air sur air extérieur pour la production de froid et/ou de chaud.</p>
<b>Potentiel d'utilisation de biogaz</b> 	<p><u>Existence d'une unité de production de biogaz à proximité</u> directe ou possibilité sur site.</p>	<p><b>NON APPLICABLE</b></p> <p>La construction d'une unité de production de biogaz n'est pas prévue dans le cadre du projet. A titre informatif, une unité est située à 3km (STEP Bonneuil)  <i>Données provenant de l'ADEME.</i></p>

## 2. Démarche En'R Choix

En toute cohérence avec la démarche En'R Choix, la stratégie énergétique proposée pour la ZAC du Triangle de Gonesse s'attachera à suivre les étapes suivantes :

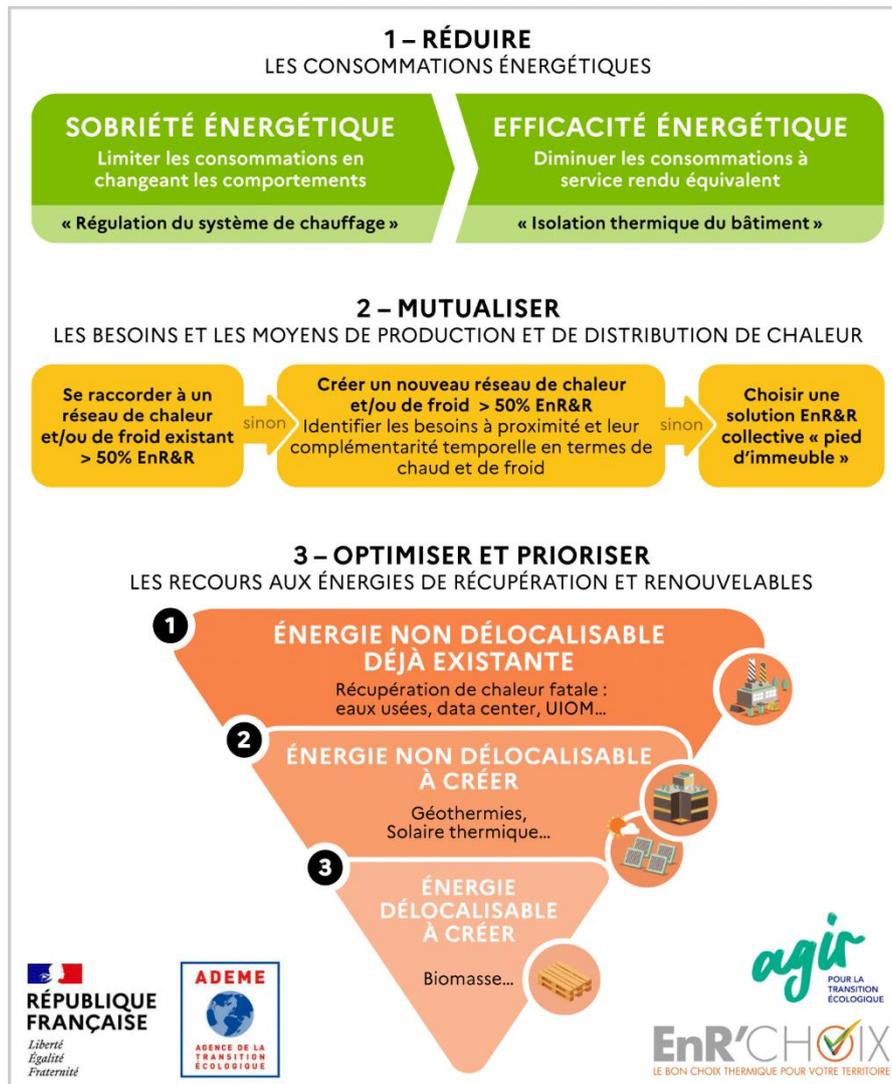


Figure 16 : Démarche En'R Choix

**Sobriété / efficacité énergétique** - comme présenté en partie II. du présent document, les besoins énergétiques considérés pour les bâtiments à construire sont basés sur un niveau RE2020 (niveau 2025) -15%

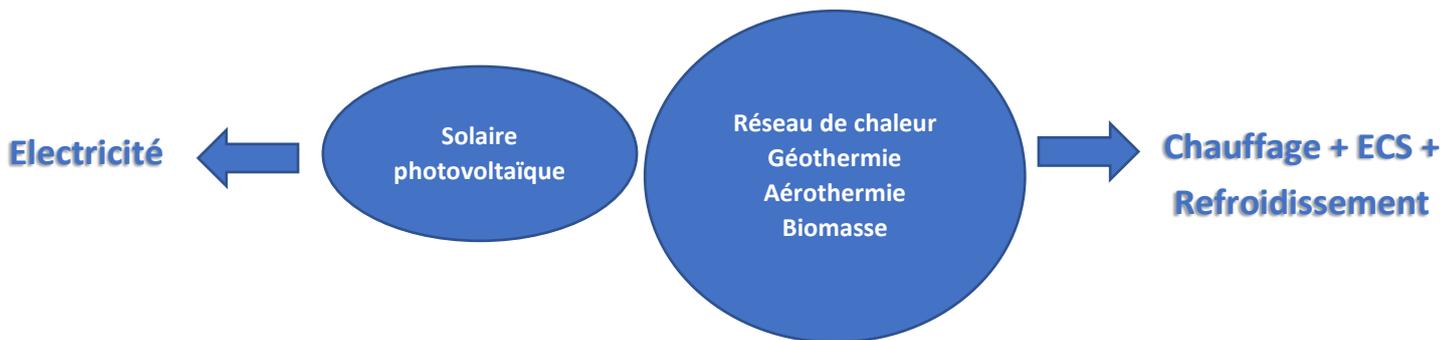
**Mutualiser** – plusieurs scénarii possibles de mise en place de réseaux de chaleur urbains seront analysés

**Optimiser et prioriser** – le recours à d'autres énergies propres en complément (notamment solaire photovoltaïque et biomasse) seront également intégrés

### 3. Perspectives d'intégration des énergies renouvelables

Sur la base des données disponibles à ce jour, les énergies renouvelables dont la disponibilité au niveau du site est la plus probable sont : le réseau de chaleur existant de Villiers le Bel – Gonesse, la géothermie, le solaire photovoltaïque, l'aérothermie et l'utilisation de la biomasse pour l'approvisionnement énergétique de la ZAC du Triangle de Gonesse.

- **Extension et raccordement au réseau de chaleur existant** : L'extension et le raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel – Gonesse sera étudié, réhaussé d'une nouvelle source de production d'ENR locale, la géothermie, afin de ne pas détériorer le mix énergétique existant.
- **La géothermie** : Le sous-sol de la commune renferme des aquifères exploitables thermiquement. Il s'agit d'une ressource renouvelable qui peut être connectée sur un réseau de chaleur, à laquelle s'ajoute une réhausse de puissance nécessaire au niveau du quartier. Les lots de bâtiments du projet seront tous connectés à ce réseau de chaleur grâce à des sous stations.
- **Le solaire photovoltaïque** : L'aménagement du quartier de la ZAC doit nécessairement prendre en compte l'intégration d'une production électrique propre comme le solaire photovoltaïque. Ce système vient compenser la demande électrique supplémentaire et constitue une des solutions techniques en capacité de gérer de façon intelligente la demande électrique tout en pérennisant la fiabilité d'une partie du coût d'achat de l'énergie électrique.
- **Aérothermie** : Le potentiel aérothermique du site étant évident, l'étude se penchera donc sur une alimentation en chaud et froid par un système mixte thermodynamique avec des pompes à chaleur réversibles.
- **Biomasse** : De par la bonne disponibilité de cette ressource dans le département et la logistique d'accès à la ZAC, la mise en place d'un système de production de chaleur par bio-énergie (chaufferie biomasse), avec appoint gaz sera également étudiée.



*A noter que bien que l'extension du réseau de chaleur de Villiers le Bel – Gonesse soit étudiée dans ce rapport, la décision finale ne dépendra pas de Grand Paris Aménagement mais des acteurs publics concernés et du gestionnaire du réseau.*

# LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

## PRINCIPE GENERAL

L'énergie solaire est une énergie gratuite, abondante et renouvelable. Elle peut être utilisée de façon passive sans technologie particulière, si ce n'est des parois vitrées pour transmettre cette énergie à l'intérieur des bâtiments en hiver et ainsi limiter les besoins en chauffage.

L'énergie solaire peut ensuite être directement valorisée par des systèmes actifs pour la production d'électricité ; cette technologie est appelée « solaire photovoltaïque ».

## TECHNIQUES EN JEU

- Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière, génère de l'électricité. En effet, « l'effet photovoltaïque » est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés "semi-conducteurs" comme le silicium utilisé pour les composants électroniques. Lorsque les particules de lumière viennent heurter ce matériau, elles communiquent une énergie à ses électrons. Ces derniers se mettent alors en mouvement créant un courant électrique recueilli par des fils métalliques très fins.

- Les cellules photovoltaïques peuvent être utilisées seules (montres, calculatrices...) mais la plupart du temps les cellules sont regroupées dans des **modules ou panneaux photovoltaïques**. Plusieurs modules sont ensuite associés pour donner un générateur photovoltaïque, plus ou moins grand en fonction du besoin déterminé.

- Il existe plusieurs familles de cellules photovoltaïques. Actuellement, les plus répandues sur le marché sont les **cellules en silicium cristallin** et les **cellules en couches minces, généralement en silicium amorphe**.

- Les panneaux installés peuvent être ou non raccordés au réseau public d'électricité. Dans l'affirmative, un onduleur convertit le courant continu produit par les modules en un courant alternatif monophasé ou triphasé compatible avec les normes du réseau électrique. Dans la négative, l'électricité est consommée sur place mais cela nécessite obligatoirement un stockage via des batteries représentant un coût non négligeable tant en termes d'achat que d'entretien.

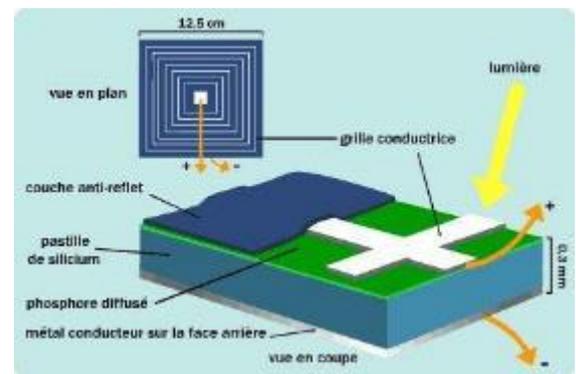


Figure 17 : Exemples d'installation PV

Dans le cas présent, c'est une **autoconsommation à l'échelle du quartier** qui est envisagée, de façon instantanée par rapport à la production.

# LA GEOTHERMIE

## PRINCIPE GENERAL

Le mot géothermie désigne à la fois les phénomènes thermiques terrestres et leur utilisation pour la production de chaleur ou d'électricité.

Le principe consiste à exploiter la chaleur :

- Contenue dans le sous-sol directement dans le cas de la géothermie haute et moyenne énergie
- Avec une pompe à chaleur dans le cas de la **géothermie assistée par pompe à chaleur**

C'est le rayonnement solaire et le noyau terrestre qui réapprovisionnent en permanence le sol en calories.

La géothermie est donc bien une énergie renouvelable inépuisable, utilisée sur place, indépendante des conditions climatiques et gratuite car non liée aux variations de coût des énergies fossiles.

Utiliser la géothermie permet de :

- Réaliser des économies financières car le bâtiment sera performant d'un point de vue énergétique
- Réduire ses émissions de gaz à effet de serre donc d'être environnementalement performant
- Avoir la possibilité de production de chaleur, de froid et d'eau chaude sanitaire avec un même équipement peut chauffer et/ou rafraîchir et/ou produire de l'eau chaude sanitaire

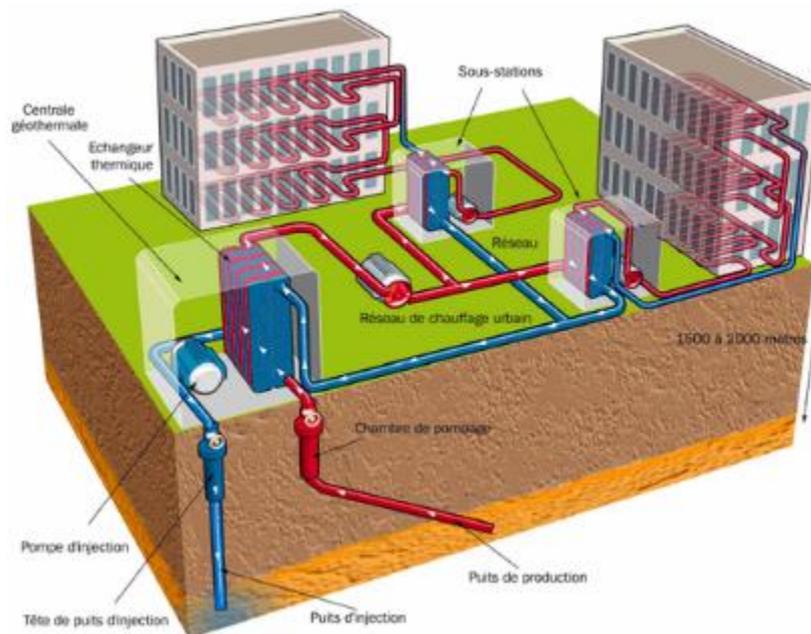


Figure 18 : Schéma de principe de la géothermie

Pour exploiter le potentiel géothermique du terrain, il faut utiliser un système géothermique. Ce dernier permet le transfert de chaleur (ou de froid) depuis le sous-sol vers des locaux à chauffer (ou à refroidir).

Le système géothermique se compose de :

- Un échangeur de chaleur
- Une pompe à chaleur (PAC)
- Un système de distribution dans les locaux (les émetteurs).

Il existe 2 types d'installations géothermiques :

- **Géothermie très basse énergie, dite « de surface » :**

- **Installation sur nappe :**

(Ou sur eau souterraine ou aqua thermie)

La chaleur est prélevée dans l'eau d'une nappe d'eau souterraine par un système en cycle ouvert : l'eau pompée au puit de production passe par l'échangeur puis elle est restituée dans la nappe souterraine via un puit d'injection.

Il n'y a donc aucun prélèvement d'eau.

- **Installation sur champs de sondes :**

Un système de pompe à chaleur sur sondes géothermiques verticales, ou sur champ de sondes, consiste à faire circuler, en circuit fermé, de l'eau souvent additionnée d'antigel, dans un réseau de tubes en polyéthylène disposés à la verticale dans des forages de 100 mètres de profondeur environ. Cela permet d'échanger de l'énergie par transfert de chaleur puis de l'acheminer jusqu'à la PAC géothermique.

En surface, la PAC permet de transférer la chaleur puisée dans le sol vers le bâtiment à chauffer en réhaussant son niveau de température (c'est le mode chauffage) ou d'injecter la chaleur en provenance du bâtiment vers le sol en abaissant son niveau de température (c'est le mode refroidissement du bâtiment).

- **Géothermie basse énergie, dite « profonde » :**

La géothermie profonde consiste en l'extraction d'une eau à une température de l'ordre de 70°C, à partir de forages d'une profondeur verticale de l'ordre de 1700 m. L'exploitation de ce type de géothermie repose sur un fonctionnement en doublet :

- Un forage permet de puiser l'eau à grande profondeur, là où elle est naturellement très chaude,
- Ramenée à la surface du sol, par sa pression naturelle et à l'aide d'une pompe, l'eau est envoyée par une canalisation étanche à une centrale géothermique,
- La production de chaleur a lieu dans la centrale géothermique, au moyen d'un échangeur de chaleur constitué d'une série de plaques en métal inoxydable (titane) assurant une grande surface d'échange. L'eau issue du sous-sol circule d'un côté, l'eau alimentant les installations de chauffage des immeubles circule de l'autre côté. Il n'y a aucun contact direct entre les deux eaux,
- L'eau provenant du sous-sol est renvoyée en profondeur après avoir cédé une part de sa chaleur,

Un réseau de chaleur permet d'acheminer l'eau réchauffée après passage dans les échangeurs vers les divers bâtiments.

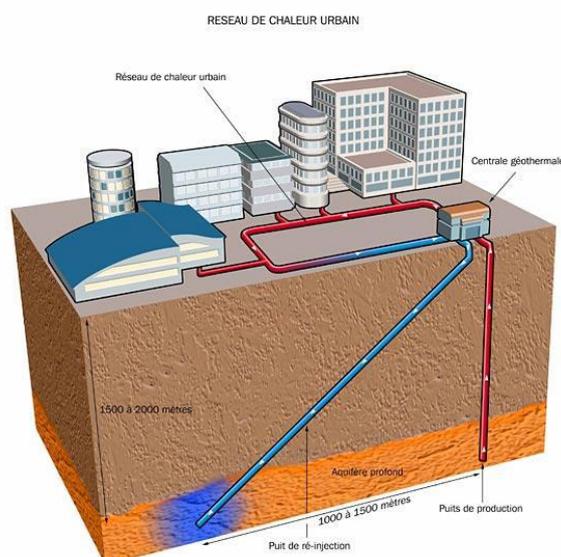


Figure 19 : Principe de fonctionnement d'un doublet géothermique (source : ADEME/BRGM)

L'Île-de-France est riche d'une cinquantaine d'exploitations géothermiques de ce type, et constitue une région pilote en France (et en Europe).

Seront étudiées dans le cadre de cette étude la **géothermie profonde** et la **géothermie sur sondes**.

## RESEAU DE CHALEUR DE VILLIERS LE BEL - GONESSE

Le **réseau de chaleur** de Villiers le Bel - Gonesse est situé à environ 4km du site de la ZAC du Triangle de Gonesse. Bien que relativement éloigné, celui-ci a fait l'objet d'une étude d'opportunité de raccordement à un nouveau réseau de chaleur sur le site de la future ZAC de Gonesse (cf. Schéma directeur des réseaux de chaleur de Villiers le Bel – Gonesse – 07/02/24). L'étude est favorable, sous réserve de ne pas détériorer le mix énergétique existant, ce qui en fait une ressource indispensable à exploiter.

Ce réseau est notamment alimenté à 12.2% par des installations au Gaz Naturel, et à 54.5% par la géothermie.

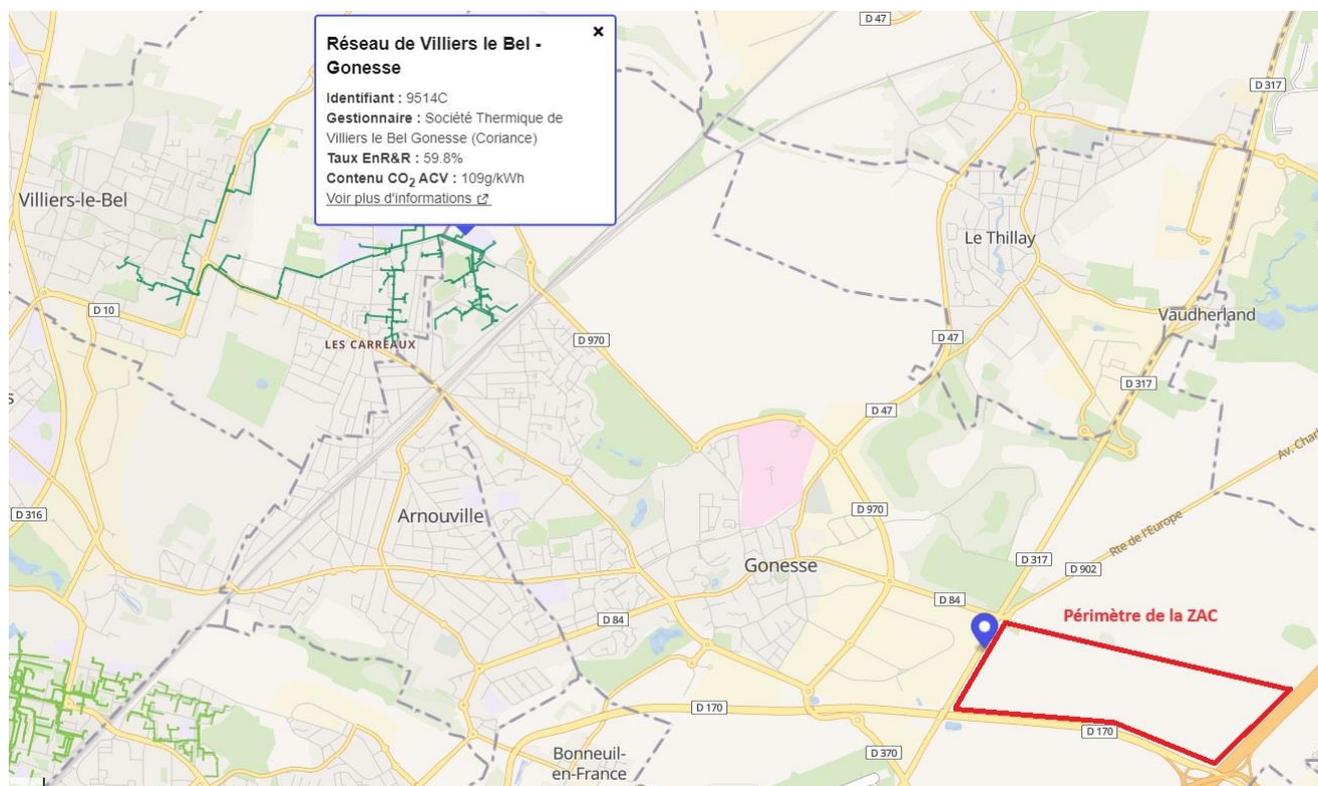


Figure 20 : Repérage du réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse par rapport à la ZAC – Extrait de la plateforme internet ViaSeva

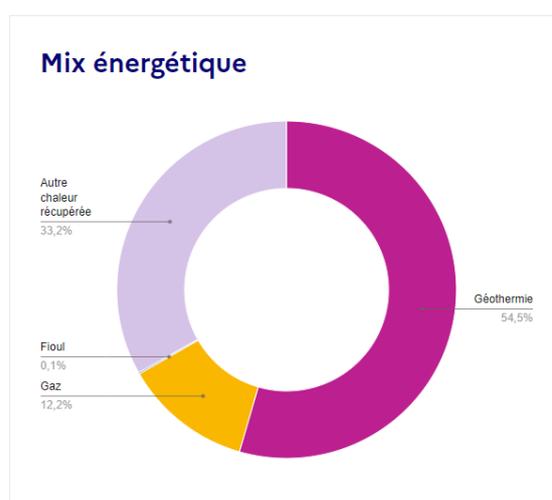


Figure 21 : Caractéristiques du réseau de chaleur de Villiers le Bel – Gonesse – Extrait de ViaSeva

## POTENTIEL AEROTHERMIQUE

L'**aérothermie** a pour principe thermique de récupérer les calories naturellement présentes dans l'air.

Cette énergie peut être utilisée avec deux technologies de **pompe à chaleur** : soit **air/eau** soit **air/air**.

La PAC fonctionne grâce à un fluide frigorigène qui y circule. Ce dernier puise l'énergie thermique dans l'air extérieur. Cela permet de le faire bouillir à une très basse température. Ainsi, la PAC produit de la vapeur qui va se transformer en chaleur à la suite de son passage dans le compresseur et le condenseur.

Les pompes à chaleur aérothermiques fonctionnent sur le principe thermodynamique de la réversibilité. En d'autres termes, une pompe à chaleur réversible peut réchauffer la pièce en hiver et la rafraîchir et la climatiser en été. Cette dernière, la climatisation aérothermique, puise les calories dans l'air intérieur afin d'extraire la chaleur et la rejeter dans l'air extérieur.

De plus l'aérothermie permet de produire du chauffage, de la climatisation, et de l'ECS efficacement.

Par ailleurs, la PAC aérothermique permet de réaliser des économies énergétiques comprises entre 50% et 70% par rapport à un chauffage électrique, et également des économies financières.

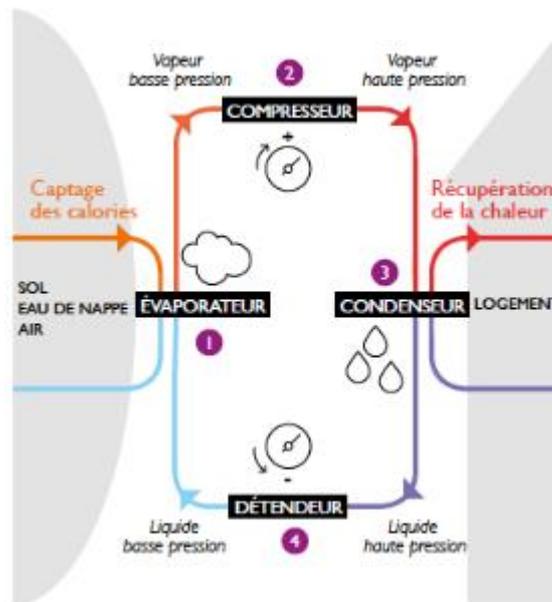


Figure 22 : Schéma fonctionnement PAC

## POTENTIEL DE BOIS ENERGIE (BIOMASSE)

La **biomasse** solide est majoritairement (92 %) destinée à produire de la chaleur, du fait d'un rendement supérieur à celui observé lorsqu'elle est utilisée pour produire de l'électricité. Il s'agit de l'énergie renouvelable la plus répandue en France dans le secteur résidentiel. À noter qu'à conditions climatiques données, la consommation moyenne de bois par logement utilisant cette énergie a tendance à diminuer, en raison notamment de l'amélioration de la performance des appareils.

Une chaudière biomasse est alimentée par des combustibles solides provenant de la filière bois. Cette technologie impose l'implantation d'un lieu de stockage.

Le bois est aujourd'hui une des sources d'énergie les moins chères parmi celles disponibles et son prix profite d'une stabilité dans le temps que ne possèdent pas les sources d'énergie fossiles et électriques.

La biénergie consiste à associer une chaufferie à combustible fossile (principalement gaz naturel) à la chaufferie bois. La chaufferie bois est conçue pour assurer la base des besoins énergétiques des bâtiments, elle fonctionne de façon plus continue à puissance nominale avec de meilleures performances énergétiques. La chaudière d'appoint, assure le complément de puissance pendant les périodes les plus froides de l'année, voire le secours en cas d'arrêt technique de la chaudière bois.

Une chaudière biomasse n'est jamais dimensionnée pour couvrir la totalité des besoins de chaleur. Le principe de la biénergie permet l'optimisation technique et économique des projets.



Figure 23 : Avantages de la biomasse

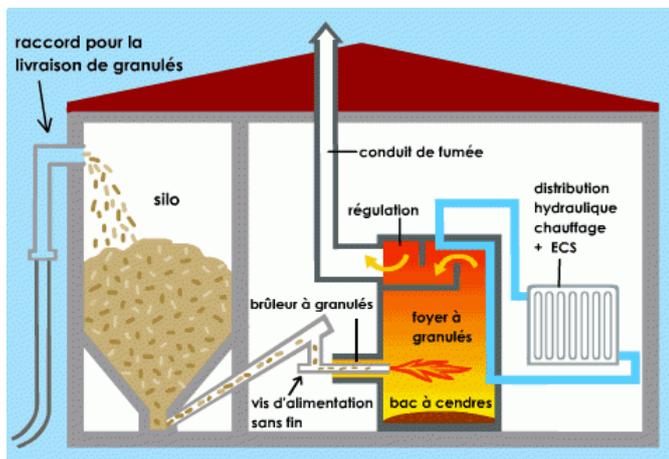


Figure 24 : Schémas de fonctionnement chaudière biomasse

### 3. Les composantes du mix énergétique

- **La ZAC du Triangle de Gonesse : l'opportunité pour un fonctionnement en réseau**

Un réseau de chaleur ou un réseau tempéré est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur ou de l'eau tempérée à plusieurs bâtiments pour répondre à leurs besoins en chauffage ou d'eau chaude sanitaire.

La mutualisation et la centralisation de la production et/ou de la captation d'énergie permettent de réaliser des gains d'échelles importants et de diminuer les rejets atmosphériques (en gaz à effet de serre notamment).

Sur le plan économique, les réseaux de chaleur ou réseaux tempérés sont globalement compétitifs grâce aux gains d'échelle qu'ils génèrent.

Dans le cas présent, compte tenu de la taille du projet d'aménagement, la réflexion sur les opportunités de mise en réseau des équipements de production ou de captation d'énergie est incontournable.

- **Des énergies renouvelables faisables techniquement, viables économiquement pour les opérateurs et acceptables pour le public**

Les freins au développement des énergies renouvelables sont multiples : des freins économiques, en relation avec les coûts d'investissements, la viabilité économique des opérations en coût global, le portage financier..., des freins techniques liés aux habitudes de l'acte de construire ou d'aménager ou encore des freins sociétaux liés à l'acceptation publique des projets.

L'enjeu au niveau du déploiement du mix énergétique de la ZAC du Triangle de Gonesse est bel et bien de lever l'ensemble de ces verrous, un à un, pour déployer de façon maîtrisée le mix énergétique le plus faisable, viable et acceptable.

- **La garantie d'une continuité de service**

Dans le cadre de la présente étude, chaque solution alternative intègre au besoin un système de secours en cas de panne des équipements ou de problèmes techniques sur le réseau afin de pouvoir assurer une continuité de service aux usagers. Les systèmes de secours représentent un investissement non négligeable mais nécessaire au bon fonctionnement des futures installations.

## IV. Les scénarii d’approvisionnement étudiés

Sur la base des énergies renouvelables disponibles sur le site, et en se basant sur la démarche En'R Choix, des scénarii d’approvisionnement énergétique ont été envisagés. Ils intègrent à la fois des systèmes de production individuels et la réalisation de réseaux thermiques à l’échelle du quartier. Ces scénarii sont déclinés ci-après avec une considération d’un scénario dit « de référence », basé sur une installation individuelle « pied d’immeuble ».

La production d’électricité photovoltaïque est traitée en parallèle des différents scénarii (voir IV. 3). Son agrégation aux scénarii sera étudiée en tant que brique indépendante dans la mesure où elle peut s’appliquer nonobstant le choix du scénario répondant aux besoins en chaleur et froid. Le potentiel d’autoconsommation d’électricité en fonction des besoins du quartier est évidemment évalué.

Les différents scénarii sont synthétisés ci-dessous :

	N°	Logements	Commerces/Equipements
<b>Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment</b>	1	<b>Chaud / ECS :</b> Aérothermie par bâtiment <b>Elec :</b> Concessionnaire	<b>Chaud :</b> Aérothermie par bâtiment <b>Froid :</b> Aérothermie par bâtiment <b>Elec :</b> Concessionnaire
<b>Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz</b>	2	<b>Chaud / ECS :</b> Réseau de chaleur et sa production de type doublet de Dogger réhausse gaz et sous-stations collectives <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseau	<b>Chaud :</b> Réseau de chaleur et sa production de type doublet de Dogger réhausse gaz et sous-stations collectives <b>Froid :</b> Réseau de chaleur et sa production de type doublet de Dogger et sous-stations collectives <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseau
<b>Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz</b>	3	<b>Chaud / ECS :</b> Réseau de chaleur et sa production sur sondes, réhausse gaz et sous-stations collectives <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseau	<b>Chaud :</b> Réseau de chaleur et sa production sur sondes, réhausse gaz et sous-stations collectives <b>Froid :</b> Réseau de chaleur et sa production sur sondes et sous-stations collectives <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseau
<b>Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</b>	4	<b>Chaud / ECS :</b> Réseau de chaleur et sa production de type doublet de Dogger réhausse gaz et sous-stations collectives, raccordé à l’extension du réseau de chaleur existant de Villiers le Bel - Gonesse <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseaux	<b>Chaud :</b> Réseau de chaleur et sa production de type doublet de Dogger réhausse gaz et sous-stations collectives, raccordé au réseau de chaleur existant de Villiers le Bel - Gonesse <b>Froid :</b> Réseau de chaleur et sa production de type doublet de Dogger et sous-stations collectives, raccordé à l’extension du réseau de chaleur existant de Villiers le Bel - Gonesse <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseaux
<b>Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</b>	5	<b>Chaud / ECS :</b> Réseau de chaleur et sa production sur sondes réhausse gaz et sous-stations collectives, raccordé à l’extension du réseau de chaleur existant de Villiers le Bel - Gonesse <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseaux	<b>Chaud :</b> Réseau de chaleur et sa production sur sondes réhausse gaz et sous-stations collectives, raccordé au réseau de chaleur existant de Villiers le Bel - Gonesse <b>Froid :</b> Réseau de chaleur et sa production sur sondes et sous-stations collectives, raccordé à l’extension du réseau de chaleur existant de Villiers le Bel - Gonesse <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseaux
<b>Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie</b>	6	<b>Chaud / ECS :</b> Réseau de chaleur et sa production de type biomasse via une chaufferie avec appoint gaz, et sous-stations collectives <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseau	<b>Chaud :</b> Réseau de chaleur et sa production de type biomasse via une chaufferie avec appoint gaz, et sous-stations collectives <b>Froid :</b> Aérothermie par bâtiment <b>Elec :</b> Concessionnaire + pompes réseau

Figure 25 : Détail des scénarii

## v. Description détaillée des scénarii

### 1. Méthodologie

Pour la description technique détaillée des scénarii, chaque scénario a fait l'objet d'une analyse afin de recenser l'ensemble des équipements de production d'énergie utiles pour l'alimentation en chaud, froid et la production d'ECS des différents bâtiments du programme du quartier de la ZAC du Triangle de Gonesse, en cohérence avec les besoins énergétiques et les besoins en puissance évalués pour chaque lot. Ainsi, **pour chaque lot et pour chaque usage, les équipements permettant de répondre aux besoins en puissance ont été associés.**

Pour les scénarii mettant en œuvre des réseaux, les équipements et travaux propres à la mise en place du réseau et des infrastructures requises pour le forage et le pompage, ont également été inventoriés.

### 2. Description technique des scénarii

Les équipements techniques de production de chaud, froid et ECS affectés à chaque scénario sont présentés sur les pages suivantes, scénario par scénario.

*Les puissances indiquées pour chaque scénario correspondent au cas de base des variantes énergétiques étudiées (cf II.1 et II.2). Les résultats des variantes sur les besoins énergétiques seront présentés en synthèse lors de l'évaluation multicritère.*

## SCENARIO N°1

SCENARIO DE REFERENCE

**Aérothermie par bâtiment (Chaud + ECS - Froid)**

#### DESCRIPTION GENERALE DU SCENARIO

LOGEMENTS	ACTIVITES COMMERCES / EQUIPEMENTS
<b>Système chaud :</b> Chauffage + ECS par aérothermie par bâtiment (PAC air/eau)  <b>Puissance Chaud :</b> 143 kW	<b>Système chaud et froid :</b> Chauffage + Refroidissement par aérothermie par bâtiment (PAC VRV – COP global de l'installation de 3,5)  <b>Puissance Chaud :</b> 18 428 kW <b>Puissance Froid :</b> 10 613 kW

Ce scénario est celui de référence, c'est-à-dire le plus simple à mettre en place et le moins coûteux à l'investissement.

Il consiste en la mise en place de pompe(s) à chaleur air/air par bâtiment et donc correspond à une production « individuelle » à l'échelle du quartier.

## SCENARIO N°2

Réseau de chaleur urbain par géothermie profonde avec réhausse gaz (Chaud + ECS - Froid)

### DESCRIPTION GENERALE DU SCENARIO

LOGEMENTS	ACTIVITES COMMERCES / EQUIPEMENTS
<p><u>Système chaud</u> : Chauffage + ECS par réseau de chaleur urbain sur base d'une installation de géothermie profonde, avec appoint Gaz, connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p> <p>Puissance Chaud : 143 kW</p>	<p><u>Système chaud et froid</u> : Chauffage + Refroidissement par réseau de chaleur urbain sur base d'une installation de géothermie profonde, avec appoint gaz, connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p> <p>Puissance Chaud : 18 428 kW Puissance Froid : 10 613 kW</p>

#### Géothermie :

Création d'une installation de géothermie profonde alimentant le quartier par un réseau chaleur, via des pompes de sous-stations dans chaque bâtiment. De plus, une réhausse gaz est prévue pour palier toute éventualité (panne, pics de consommations durant la saison hivernale).

Ce scénario étudie la création d'un réseau de chaleur sur géothermie profonde développé à l'échelle de la ZAC de Gonesse.

## SCENARIO N°3

### Réseau de chaleur urbain par géothermie sur sondes avec réhausse gaz (Chaud + ECS - Froid)

#### DESCRIPTION GENERALE DU SCENARIO

LOGEMENTS	ACTIVITES COMMERCE / EQUIPEMENTS
<b>Système chaud :</b> Chauffage + ECS par réseau de chaleur urbain sur base d'une installation de géothermie sur sondes, avec appoint Gaz, connecté à des sous-stations dans les bâtiments.  Puissance Chaud : 143 kW	<b>Système chaud et froid :</b> Chauffage + Refroidissement par réseau de chaleur urbain sur base d'une installation de géothermie sur sondes, avec appoint gaz, connecté à des sous-stations dans les bâtiments.  Puissance Chaud : 18 428 kW Puissance Froid : 10 613 kW

#### Géothermie :

Création d'une installation de géothermie sur champs de sondes alimentant le quartier par un réseau chaleur, via des pompes de sous-stations dans chaque bâtiment. De plus, une réhausse gaz est prévue pour palier toute éventualité (panne, pics de consommations durant la saison hivernale).

Ce scénario étudie la création d'un réseau de chaleur sur géothermie sur champs de sondes développé sur le périmètre de la ZAC de Gonesse.

*A noter que dans le cas de la géothermie sur sondes, l'intervention d'un professionnel est nécessaire afin de réaliser un test de réponse thermique (TRT) permettant de caractériser les propriétés géothermiques du site. **Le dimensionnement de la profondeur des sondes sera issu des résultats de ce test.***

*Le budget à prévoir pour ce type de test est d'environ 20 à 25 k€ HT, pouvant être financé en partie par des aides de l'ADEME. Voir [Test de réponse thermique de terrain \(géothermie\) | Entreprises | Agir pour la transition écologique | ADEME](#).*

## SCENARIO N°4

Réseau de chaleur urbain par géothermie profonde avec réhausse gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur existant (Chaud + ECS – Froid)

LOGEMENTS	ACTIVITES COMMERCES / EQUIPEMENTS
<p><u>Système chaud</u> : Chauffage + ECS par réseau de chaleur urbain, sur base d'une installation de géothermie profonde locale, raccordé à l'extension du réseau de chaleur de Villiers-le-Bel Gonesse. Ce réseau sera connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p> <p>Puissance Chaud : 143 kW</p>	<p><u>Système chaud et froid</u> : Chauffage + Refroidissement par réseau de chaleur urbain, sur base d'une installation de géothermie profonde locale, raccordé à l'extension du réseau de chaleur de Villiers-le-Bel Gonesse. Ce réseau sera connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p> <p>Puissance Chaud : 18 428 kW Puissance Froid : 10 613 kW</p>

Réseau de chaleur :

Raccordement de tous les bâtiments au réseau de chaleur local géothermique, lui-même relié via une extension au réseau de chaleur de Villiers le Bel – Gonesse.

Une réhausse gaz est prévue pour palier toute éventualité (panne, pics de consommations durant la saison hivernale).

Ce système se base sur la création d'un réseau de chaleur par géothermie profonde, et d'un raccordement à l'extension du réseau de chaleur urbain de Villiers le Bel – Gonesse.

Ce scénario se base sur l'étude de faisabilité de l'extension potentielle du réseau de chaleur urbain de Villiers le Bel – Gonesse, et du raccordement d'un nouveau réseau de chaleur développé sur la ZAC de Gonesse à celui-ci (extrait du Schéma directeur des réseaux de chaleur de Villiers-le-Bel – Gonesse, datant du 07/02/24).

## SCENARIO N°5

Réseau de chaleur urbain par géothermie sur sondes avec réhausse gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur existant (Chaud + ECS – Froid)

LOGEMENTS	ACTIVITES COMMERCES / EQUIPEMENTS
<p><u>Système chaud</u> : Chauffage + ECS par réseau de chaleur urbain, sur base d'une installation de géothermie sur sondes locale, raccordé à l'extension du réseau de chaleur de Villiers-Le-Bel Gonesse. Ce réseau sera connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p> <p>Puissance Chaud : 143 kW</p>	<p><u>Système chaud et froid</u> : Chauffage + Refroidissement par réseau de chaleur urbain, sur base d'une installation de géothermie sur sondes locale, raccordé à l'extension du réseau de chaleur de Villiers-le-Bel Gonesse. Ce réseau sera connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p> <p>Puissance Chaud : 18 428 kW Puissance Froid : 10 613 kW</p>

Réseau de chaleur :

Raccordement de tous les bâtiments au réseau de chaleur local géothermique, lui-même relié via une extension au réseau de chaleur de Villiers le Bel – Gonesse.

Une réhausse gaz est prévue pour palier toute éventualité (panne, pics de consommations durant la saison hivernale).

Ce système se base sur la création d'un réseau de chaleur par géothermie sur sondes, et d'un raccordement à une extension potentielle du réseau de chaleur urbain de Villiers le Bel – Gonesse.

*Idem que pour le scénario 3, il est à noter que dans le cas de la géothermie sur sondes, l'intervention d'un professionnel est nécessaire afin de réaliser un test de réponse thermique (TRT) permettant de caractériser les propriétés géothermiques du site.  
Le dimensionnement de la profondeur des sondes sera issu des résultats de ce test.*

## SCENARIO N°6

### Réseau de chaleur urbain par chaufferie biomasse avec appoint gaz (Chaud + ECS) – Aérothermie (Froid)

#### DESCRIPTION GENERALE DU SCENARIO

LOGEMENTS	ACTIVITES COMMERCE / EQUIPEMENTS
<p><u>Système chaud</u> : Chauffage + ECS par réseau de chaleur, sur base d'une chaufferie biomasse, avec appoint gaz. Ce réseau sera connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p>	<p><u>Système chaud</u> : Chauffage par réseau de chaleur, sur base d'une chaufferie biomasse, avec appoint gaz. Ce réseau sera connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p>
	<p><u>Système froid</u> : Aérothermie par bâtiment (PAC VRV – COP global de l'installation de 3,5)</p>
<p>Puissance Chaud : 143 kW</p>	<p>Puissance Chaud : 18 428 kW Puissance Froid : 10 613 kW</p>

#### Chaufferie biomasse :

Mise en place d'une chaufferie biomasse avec un appoint gaz, connectée aux logements par un réseau de chaleur et des sous-stations dans les bâtiments.

La spécificité de ce scénario est la mise en place d'une chaufferie bois, alimentant le quartier via un réseau de chaleur. Les besoins en froid sont couverts par de l'aérothermie par bâtiment.

En dehors de l'aspect énergétique de cette solution, il conviendra également de s'assurer qu'une surface pourra être dédiée à l'installation de cette chaufferie et du silo de stockage du bois, tous deux devant être accessibles pour les livraisons, sur la base d'une logistique d'approvisionnement fluide.

## 4. Production d'électricité par mise en place d'installations photovoltaïques

La production d'électricité photovoltaïque est étudiée en parallèle des scénarii présentés précédemment. Elle est considérée comme une « brique indépendante », pouvant être ajoutée à tous les autres scénarii.

					Puissance Module (Wc)	Surface Module (m <sup>2</sup> )	Rendement PV			
					400	1,7	0,2			
					Modules PV 400 Wc					
Estim. Production (sur la base de 50 ha de toiture)	Type d'exposition	Surfaces (m <sup>2</sup> )	Taux util. [%]	Nbre de modules	Réduction d'irradiation (ombrage)	irradiation [kWh/m <sup>2</sup> /an]	P.inst. [Wc]	Production annuelle estimée [kWh]		
	Très favorable (20% des toitures)	95000	60,0%	33529	-5%	1054,3	13 411 765	11 418 069		
	Favorable (10% des toitures)	45000	60,0%	15882	-10%	1054,3	6 352 941	5 123 898		

Figure 26 : Hypothèses techniques pour le dimensionnement photovoltaïque

Les surfaces considérées dans le tableau de synthèse ci-dessus sont tirées du Plan guide de Janvier 2024 et des toitures choisies pour leur exposition solaire favorable.

A noter que ces surfaces de panneaux photovoltaïques installées viennent en sus des éventuelles installations PV qui seront considérées dans le cadre des études réglementaires RE2020 de la construction des bâtiments.

### Détail des hypothèses et sources des données :

Le dimensionnement photovoltaïque se base sur la variante « Favorable ». Les surfaces prises en compte dans l'étude représentent 10% des surfaces de toitures totales, avec un léger ombrage (10% d'ombrage – 90% d'exposition solaire).

Le taux d'utilisation de 60% de la surface de toiture prend en compte l'encombrement des installations techniques et du passage pour l'entretien et la maintenance de toutes les installations.

Les dimensions et le rendement des panneaux sont issus de fiches techniques de Matériel standard du marché en 2023.

L'irradiation solaire à Gonesse provient du site Global Solar Atlas et les données d'autoconsommation avec surplus sont issues du site Photovoltaïque.info.

**Le pourcentage d'autoconsommation est fixé à 70% et la revente à 30%, ratios issus de nos retours d'expériences sur des bâtiments tertiaires/mixtes.**

Hypothèses complémentaires considérées :

- Augmentation annuelle du prix de l'électricité à partir de 2024 selon ENERPLAN et l'ADEME : 2,5%
- Prix moyen de l'électricité : 0.194 € HT/kWh. Ce montant est basé sur une valeur moyenne du kWh début 2024 à 0,18 €HT/kWh, projeté à 2027 (année prévisionnelle de livraison) avec l'augmentation annuelle de 2,5%.
- Frais de Gros-Entretien-Renouvellement : remplacement des onduleurs 1 fois en 20 ans
- Réduction annuelle de la production des panneaux : - 0,25%/an
- Coûts présentés en € constants dans le temps, hors actualisation
- Aucun frais d'investissement considérés (frais liés aux emprunts)

Données et hypothèses modifiables			
Prime à l'investissement pour une installation <100kWc		0,10	€/Wc
Prix de revente du surplus		0,08	€/kWh
Hypothèse coût de l'installation		1,20	€HT/Wc
Consommation Elec du quartier	Scénario 1	23 410	MWhef
	Scénario 2	19 089	MWhef
	Scénario 3	20 268	MWhef
	Scénario 4	17 846	MWhef
	Scénario 5	18 958	MWhef
	Scénario 6	21 585	MWhef
Pourcentage d'autoconsommation		70%	

Figure 27 : Hypothèses économiques pour le dimensionnement photovoltaïque

Les consommations électriques du quartier sont variables en fonction des scénarii ; elles ont un socle commun qui est le ratio de consommations mais dépendent également des équipements mis en place pour combler les besoins en chaud, ECS et en froid.

## VI. Analyse comparative des scénarii

### 1. Méthodologie et hypothèses

#### QUELQUES DEFINITIONS

**Energie utile** : Energie disponible au niveau de l'utilisateur final qui correspond au besoin thermique

**Energie finale** : Energie fournie aux équipements de production destinés à produire les usages attendus

**Energie primaire** : L'énergie primaire mesure le prélèvement à la source (c'est à dire la nature), que l'on effectue pour produire de l'énergie finale (celle que l'on utilise).

Pour l'électricité en particulier, on considère qu'il faut 2,3 kWh d'énergie primaire pour produire 1 kWh d'énergie électrique utilisable par le consommateur. Pour les énergies fossiles, on considère que l'énergie utilisable est égale à l'énergie primaire.

**COP** : COefficient de Performance représente la performance énergétique de la pompe à chaleur. Il correspond au rapport entre l'énergie utile (chaleur restituée pour le chauffage) et l'énergie consommée (facturée) pour faire fonctionner la pompe à chaleur

Pour l'analyse comparative des scénarii étudiés, des critères énergétiques, économiques et environnementaux sont proposés. Ces différents critères et leurs hypothèses sont détaillés ci-après.

#### a) Critères énergétiques

Les critères environnementaux calculés sur la base de l'estimation des besoins en énergie finale pour chaque lot sont :

- **Consommation en énergie utile ;**
- **Consommation en énergie primaire ;**
- **Taux de couverture des besoins en énergie utile des opérations par les productions en énergies renouvelables ou taux d'approvisionnement en énergies renouvelables**

NB : Ce dernier est différent du taux en énergie renouvelable des réseaux qui correspond à la part d'énergie renouvelable sur l'ensemble des consommations d'énergie de l'opération (et non des besoins).

#### b) Critères économiques

Les critères économiques reposent sur l'**approche en coût global** incluant les phases d'investissement et de fonctionnement des systèmes mis en place. Cette analyse a nécessité l'évaluation des postes de coûts propres à l'investissement, l'exploitation et la maintenance des systèmes mis en place pour les différents lots, et plus précisément les postes suivants :

**P1 : Les coûts d'investissements.** Les coûts d'investissements sont décomposés en trois parties : le coût d'installation de production de froid, le coût du raccordement au réseau de chaleur urbain et le coût des installations d'exploitation des énergies renouvelables.

Pour les installations de froid, le coût a été estimé suivant des ratios issus de nos ressources internes.

Pour le raccordement au réseau de chaleur urbain de Villiers le Bel - Gonesse, le coût a été établi suivant les données de l'exploitant.

Pour les installations d'énergies renouvelables, les coûts ont été estimés suivant des ratios issus de nos ressources internes.

Les coûts d'investissement de chaque ensemble d'équipements de production considérés dans les scénarii sont résumés ci-dessous. Ils sont basés sur des ratios actualisés issus de la bibliographie et de retours d'expériences de notre bureau d'études :

<i>Investissement</i>	
Pompe à chaleur	14 900 k€
Installation géothermie profonde	15 000 k€
Installation géothermie sur sondes	25 000 k€
Coût raccordement au réseau de chaleur existant de Villiers le Bel - Gonesse	3 600 k€
Réseau de chaleur par Biomasse	13 000 k€
Installation photovoltaïque	10 000 k€

Figure 28 : Synthèse des investissements projetés

*A noter que le coût de l'investissement de la géothermie profonde est issu des données du rapport du Schéma directeur des réseaux de chaleur de Villiers-le-Bel - Gonesse (du 07/02/24). Ce coût correspond à 30% du coût de l'investissement total du réseau de chaleur projeté sur le périmètre tel que précisé dans le schéma directeur.*

*A noter également que le ratio de coût de la géothermie sur sondes est issu de l'Etude technico-économique « Géothermie assistée par pompe à chaleur » de l'AFPG - Juillet 2014. Ce ratio est maximisé, ne connaissant pas à ce stade les propriétés thermiques du sol et le dimensionnement des sondes associé.*

**P2 : Coûts annuels** : constitués des coûts de maintenance et d'entretien courants annuels, et des coûts annuels de renouvellement et de gros entretiens des équipements (*lissés sur une année*). Ces coûts ont été évalués selon des ratios connus issus de retours d'expériences.

Cet indicateur intègre aussi les coûts annuels des consommations énergétiques. Les tarifs du réseau de chaleur urbain actuel de Villiers le Bel – Gonesse, ainsi que les tarifs prospectifs cibles du futur réseau de chaleur par géothermie raccordé à celui de Villiers le Bel sont issus du Schéma directeur des réseaux de chaleur de Villiers-le-Bel – Gonesse.

Il a été considéré que le tarif de l'électricité réseau subi une augmentation de 2,5% par an (hypothèse basse de ADEME/ENERPLAN) (même hypothèse que pour le prix de revente de l'électricité issue d'installation photovoltaïque).

**P3 : Coût global sur 20 ans** : ce coût n'intègre pas de taux d'emprunt des investissements ni de taux d'évolution des tarifs du réseau de chaleur. Un taux d'évolution de 2,5% sur les tarifs de l'électricité a cependant été pris en compte.

### c) Critère environnemental

Les bâtiments sont à l'origine d'environ la moitié des émissions primaires de particules fines (PM 2,5) dans l'Union Européenne, responsables de décès et de maladies. Conformément à la directive (UE) 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil, l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments devrait réduire en parallèle les émissions de polluants.

L'ambition climatique et énergétique renforcée de l'Union Européenne nécessite donc une nouvelle vision pour les bâtiments : le bâtiment qui tend vers l'émission nulle - une demande énergétique très faible, ne générant sur place aucune émission de carbone provenant de combustibles fossiles et produisant de très faibles émissions opérationnelles de gaz à effet de serre. Tous les bâtiments neufs devraient être à émissions nulles d'ici à 2030, et les bâtiments existants devraient être transformés en bâtiments à émissions nulles d'ici à 2050.

Dans ce contexte, **l'impact carbone** des activités et des consommations de chaque utilisateur de bâtiment, et donc de chaque quartier, est évidemment un critère majeur d'analyse.

Le tableau ci-dessous est un indicateur des empreintes carbonées (ratios d'émissions carbone estimatives en équivalent CO<sub>2</sub>) de chaque type de production de chaleur/d'énergie pouvant potentiellement être mis en place sur la ZAC du Triangle de Gonesse. Les estimations de l'impact carbone des scénarii seront basées sur ces données.

<b>C A R B O N E</b>	<i>Impact carbone moyen de l'électricité du réseau public de distribution</i>		79 geqCO <sub>2</sub> /kWh
	<i>Impact carbone Réseau Urbain Villiers le Bel - Gonesse (59,8% EnR, 12,2% gaz)</i>		109 geq CO <sub>2</sub> /kWh
	<i>Impact carbone Réseau Géothermie (69% EnrR)</i>		45 geq CO <sub>2</sub> /kWh
	<i>Impact carbone PV</i>	module fabriqué en Asie	44 geq CO <sub>2</sub> /kWh
		module européen	32 geq CO <sub>2</sub> /kWh
		module français	25 geq CO <sub>2</sub> /kWh
	<i>Impact carbone PAC Air/Eau</i>		49 geq CO <sub>2</sub> /kWh
<i>Impact carbone chauffage bois</i>		26 geq CO <sub>2</sub> /kWh	

Figure 29 : Impact carbone en fonction de l'équipement/type de production d'énergie

Les données mettent en exergue que le réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse alimenté avec une part de gaz (12%) et d'énergie fossile est plus émetteur de carbone qu'un réseau de chaleur utilisant des énergies propres en proportions significatives, comme la géothermie, qui émet environ 2.5 fois moins de carbone.

Il est aussi possible de constater que la production d'énergie solaire photovoltaïque a un faible impact carbone, tout comme la biomasse (chauffage bois).

On rappelle que cette évaluation globale suivant les critères économiques, énergétiques et environnementaux repose sur une **évaluation lot par lot découlant des affectations d'équipements** propres à chaque scénario. Ainsi pour chaque scénario et pour chaque lot identifié, à partir des puissances dimensionnantes, des équipements techniques de production de chaud, refroidissement, rafraîchissement et d'ECS ont été définis. Ensuite sur la base de ratios tarifaires, les estimations de coûts d'investissements, de maintenance et d'entretien courants et de renouvellement ont été effectuées. En parallèle, pour chaque scénario et pour chaque lot identifié, les consommations en énergie utile sont calculées en fonction des rendements et COP, et les coûts associés sont déduits. Enfin, selon les énergies utilisées, pour chaque scénario et pour chaque lot identifié, les émissions de CO<sub>2</sub> propres sont estimées.

## 2. Résultats / Comparaison Critères énergétiques

Les différents scénarii ont donc été comparés par rapport à leur consommation d'énergie finale et primaire, énergie achetée, énergie autoconsommée et taux d'approvisionnement en énergies renouvelables.

Les résultats obtenus après analyse de l'étude réalisées selon les critères énergétiques sont présentés dans le tableau ci-dessous et dans les graphes qui suivent. Pour rappel, le scénario PV a été traité séparément.

	CONSOMMATIONS D'ENERGIE				MOBILISATION DES ENERGIES RENEUVELABLES	
	Besoin Energie utile MWh/an	Consommation Energie finale MWh <sub>ef</sub> /an	Achat Energie finale MWh <sub>ef</sub> /an	Consommation Energie primaire MWh <sub>ep</sub> /an	% EnR	Energie renouvelable Consommée MWh/an
<i>Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment</i>	36 763 MWh	23 410 MWh	23 410 MWh	53 842 MWh	36%	13 353 MWh
<i>Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz</i>	39 119 MWh	27 337 MWh	27 337 MWh	52 153 MWh	30%	11 782 MWh
<i>Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz</i>	40 297 MWh	29 693 MWh	29 693 MWh	56 041 MWh	26%	10 604 MWh
<i>Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	37 876 MWh	24 745 MWh	24 745 MWh	47 944 MWh	35%	13 131 MWh
<i>Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	38 988 MWh	26 970 MWh	26 970 MWh	51 616 MWh	31%	12 018 MWh
<i>Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie</i>	37 723 MWh	23 025 MWh	23 025 MWh	51 086 MWh	39%	14 697 MWh

Figure 30 : Comparaison des résultats obtenus au niveau des indicateurs environnementaux pour les différents scénarii étudiés – Cas de base

Le détail de ces consommations est présenté ci-dessous :

Consommation		Vecteur énergétique	Besoin énergie utile	Conso annuelle energie finale	Conso annuelle energie primaire	% EnR	EnR autoconsommée	Appro ENR
Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment	Chaud + ECS	Electricité	8 353 MWh	6 677 MWh	53 842 MWh	67%	13 353 MWh	36%
	Froid		11 677 MWh			0%	0 MWh	
	Aux		16 733 MWh			0%	0 MWh	
Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz	Chaud + ECS	Réseau de chaleur	8 353 MWh	3 440 MWh	8 248 MWh	59%	11 782 MWh	30%
	Froid		11 677 MWh	4 808 MWh		0%	0 MWh	
	Aux	Electricité	16 733 MWh	19 089 MWh		43 905 MWh	0%	
Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz	Chaud + ECS	Réseau de chaleur	8 353 MWh	3 931 MWh	9 426 MWh	53%	10 604 MWh	26%
	Froid		11 677 MWh	5 495 MWh		0%	0 MWh	
	Aux	Electricité	16 733 MWh	20 268 MWh		46 615 MWh	0%	
Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse	Chaud + ECS	Réseau de chaleur	8 353 MWh	2 877 MWh	6 899 MWh	66%	13 131 MWh	35%
	Froid		11 677 MWh	4 022 MWh		0%	0 MWh	
	Aux	Electricité	16 733 MWh	17 846 MWh		41 045 MWh	0%	
Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse	Chaud + ECS	Réseau de chaleur	8 353 MWh	3 341 MWh	8 012 MWh	60%	12 018 MWh	31%
	Froid		11 677 MWh	4 671 MWh		0%	0 MWh	
	Aux	Electricité	16 733 MWh	18 958 MWh		43 604 MWh	0%	
Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie	Chaud + ECS	Bois-énergie	8 353 MWh	1 440 MWh	1 440 MWh	83%	6 913 MWh	39%
	Froid	Electricité	11 677 MWh	3 892 MWh	49 646 MWh	67%	7 784 MWh	
	Aux		16 733 MWh	17 693 MWh	0%	0 MWh		

Figure 31 : Détails des consommations d'énergie – Cas de base

## a) Consommations en énergie finale

La figure ci-dessous détaille la répartition des consommations énergétiques finales des différents scénarii :

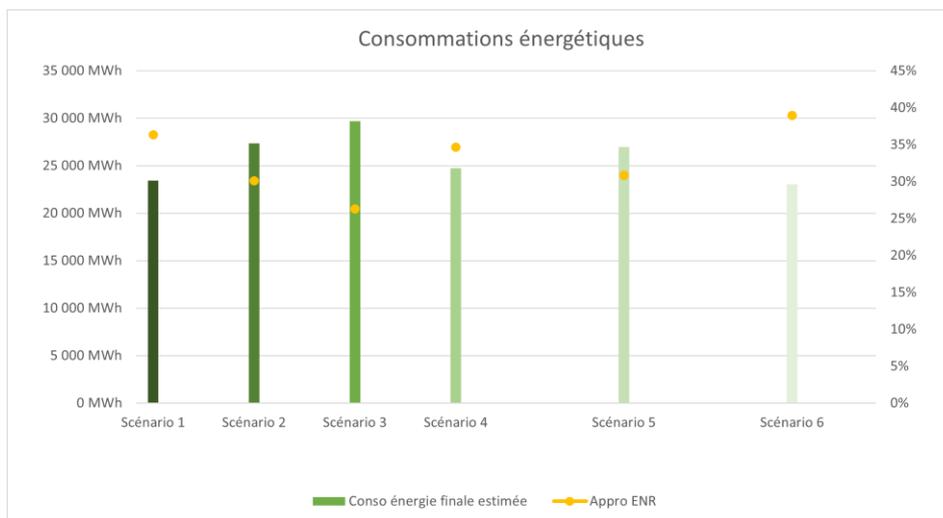
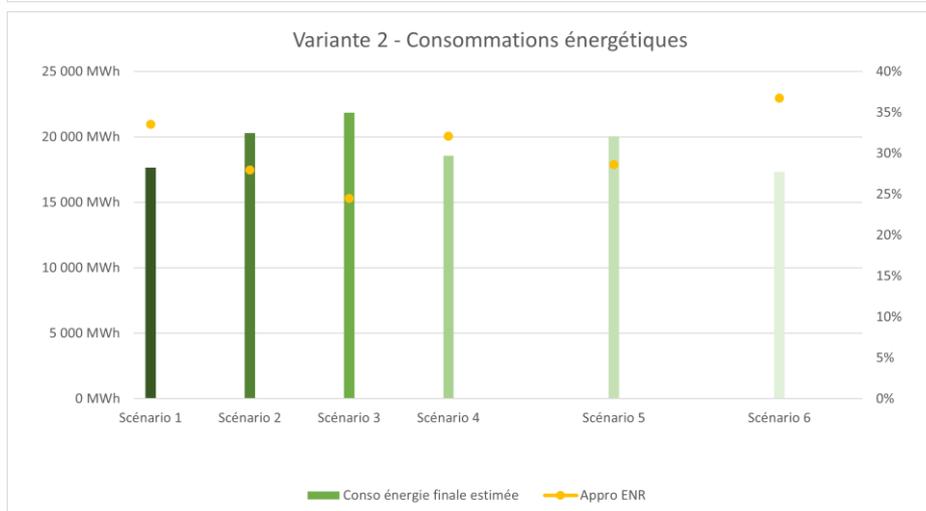
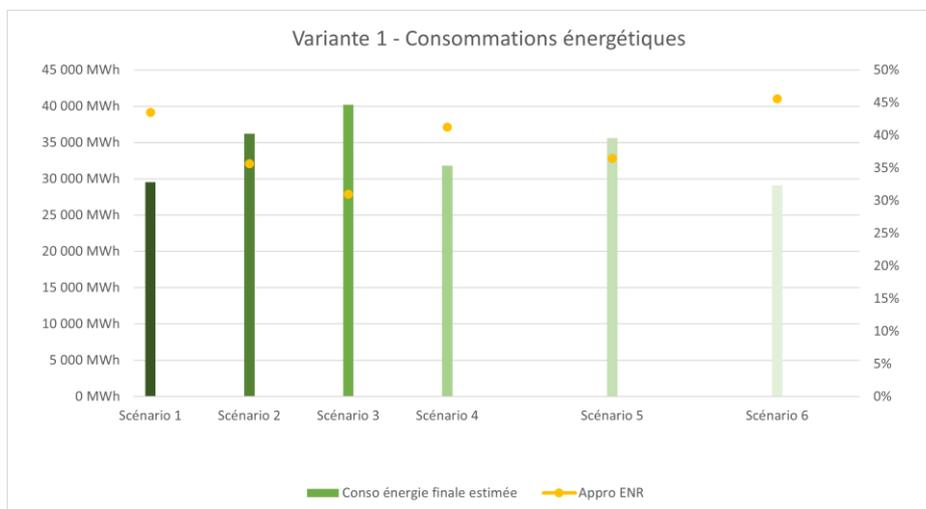


Figure 32 : Comparaison des consommations énergétiques finales annuelles par usage – Cas de base

### Variantes :



Que l'on considère le cas de base ou les variantes sur les besoins énergétiques (dont l'écart relatif sur les résultats est le même), on constate que les **consommations en énergie finale** sont du même ordre de grandeur pour les différents scénarii. Il s'agira donc de s'appuyer sur les autres critères économiques pour dresser la tendance du scénario le plus avantageux sur le plan économique.

## b) Consommations en énergie primaire

La comparaison des consommations en énergie primaire des différents scénarii est présentée dans le graphique ci-après :

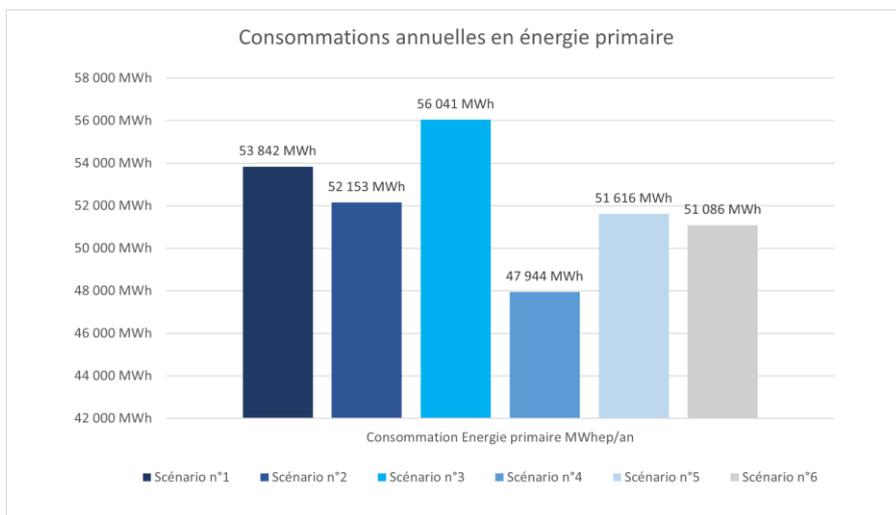


Figure 33 : Comparaison des consommations annuelles en énergie primaire – Cas de base

### Variantes :

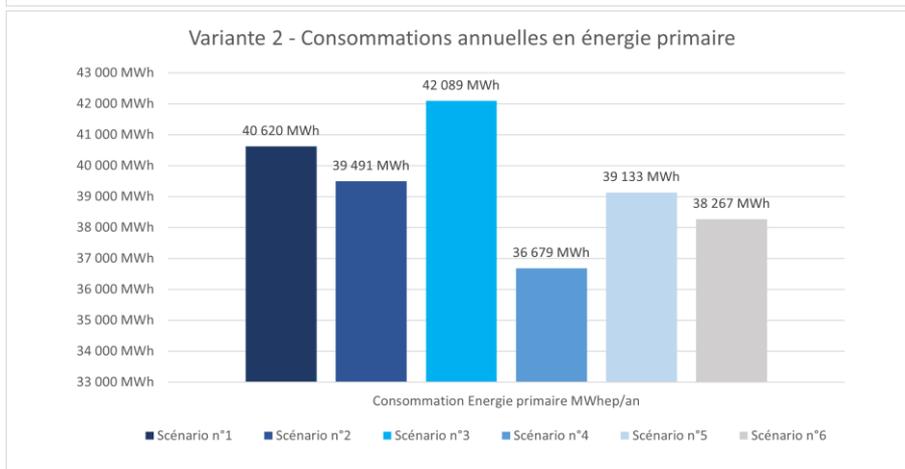
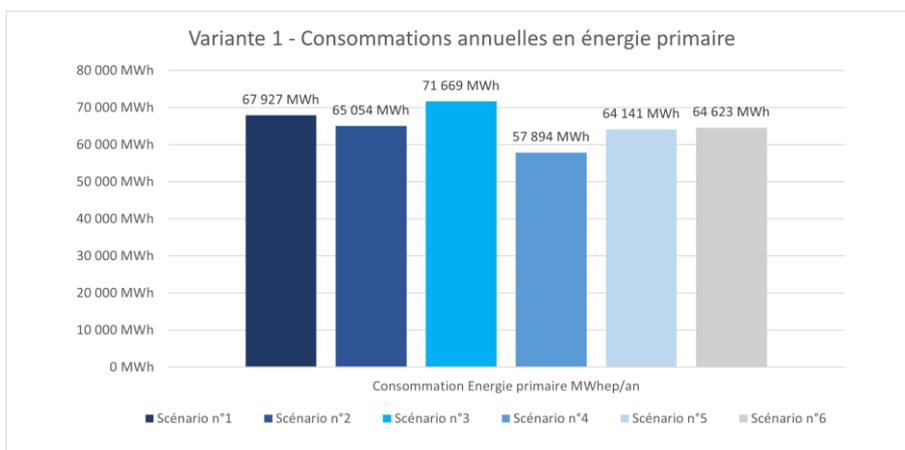


Figure 34 : Résultats des variantes - consommations énergie primaire

Le Scénario n°4 se détache et présente la **consommation en énergie primaire** la plus faible, tant pour le cas de base étudié, que pour les variantes sur les besoins énergétiques.

### c) Energie achetée

Si l'on se focalise sur l'énergie achetée suivant les scénarii, les résultats obtenus sont les suivants :

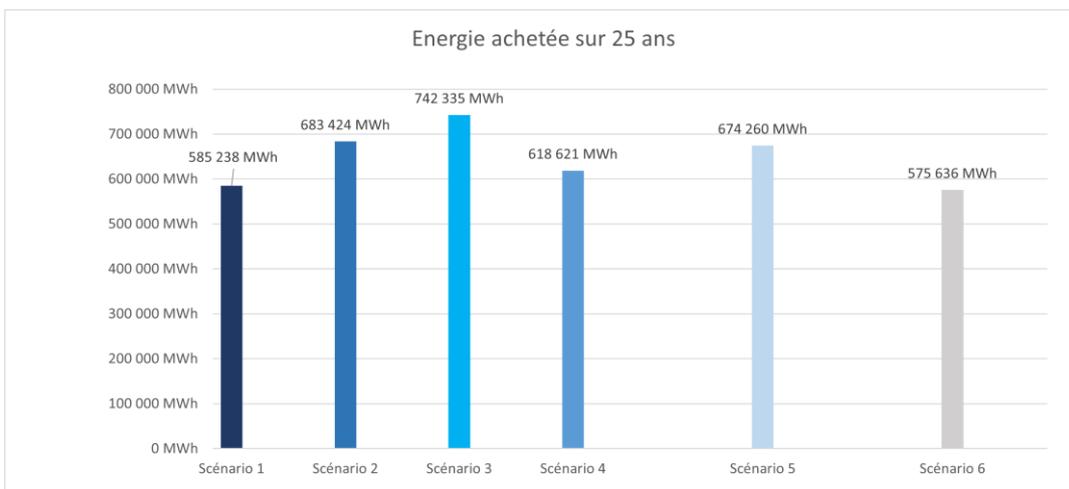


Figure 35 : Comparaison de l'énergie achetée sur 25 ans – Cas de base

Ici encore il est difficile de mettre en avant l'un des scénarii au niveau de l'énergie achetée sur 25 ans. En effet, les résultats se situent autour du même ordre de grandeur.

#### Variantes :

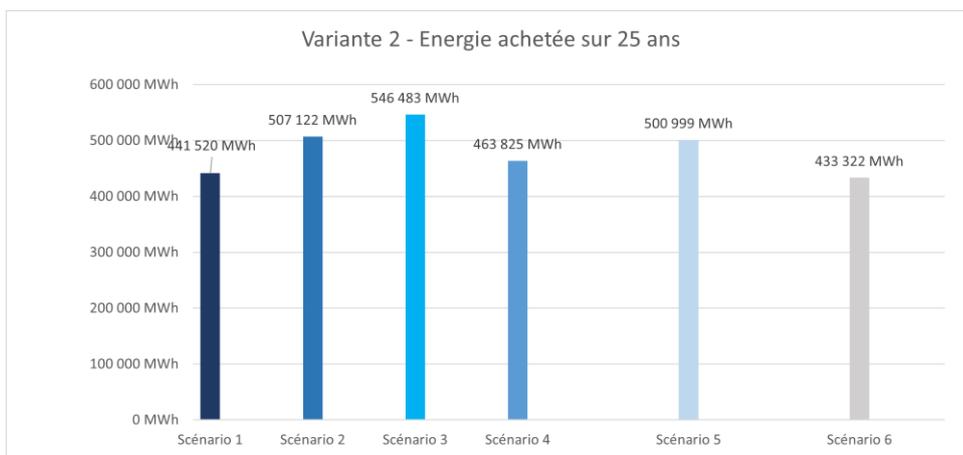
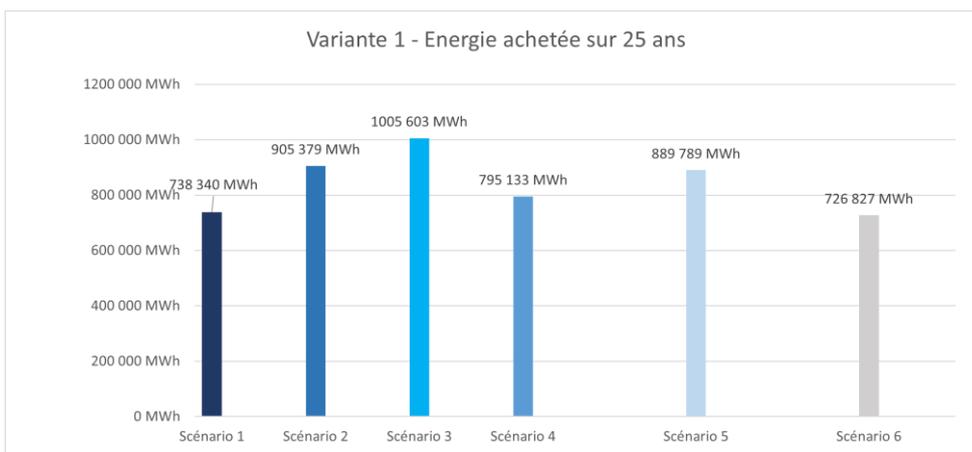


Figure 36 : Résultats des variantes : énergie achetée

L'écart relatif entre les résultats des scénarii pour les variantes 1 et 2 est le même que pour le cas de base. L'interprétation est donc la même que pour le cas de base.

## a) Taux d’approvisionnement en énergies renouvelables

A l’issue de notre étude, nous obtenons les taux d’approvisionnement en énergies renouvelables du quartier suivants (hors solaire photovoltaïque) :

	<i>Taux d'approvisionnement en EnR</i>		
	<i>Cas de base</i>	<i>Variante 1</i>	<i>Variante 2</i>
<i>Scénario 1</i>	<b>36%</b>	<b>43%</b>	<b>34%</b>
<i>Scénario 2</i>	30%	36%	28%
<i>Scénario 3</i>	26%	31%	24%
<i>Scénario 4</i>	<b>35%</b>	<b>41%</b>	<b>32%</b>
<i>Scénario 5</i>	31%	36%	29%
<i>Scénario 6</i>	<b>39%</b>	<b>46%</b>	<b>37%</b>

Que ce soit pour le cas de base, ou pour les deux variantes sur les besoins énergétiques étudiées, les scénarii n°1, 4 et 6 présentent les taux d’approvisionnement en énergies renouvelables les plus vertueux.

Après comparaison des différents scénarii suivant les critères économiques fixés dans cette étude, il apparaît que le Scénario n°4, basé sur la création d’un réseau de chaleur par géothermie profonde, raccordé à l’extension du réseau de chaleur existant de Villiers le Bel – Gonesse, est le plus avantageux en termes de consommations énergétiques (primaire, finale, énergie achetée). Les scénarii n°1 et 6 présentent également des résultats énergétiques intéressants.

Si l’on s’attache au taux d’approvisionnement en énergie renouvelables, le scénario n°4 n’est pas le plus vertueux, bien que l’ordre de grandeur de ces taux soit sensiblement le même et qu’à ce stade, le niveau de précision ne nous permette pas de statuer sur une différence majeure mais plutôt refléter des tendances. Nous verrons par la suite comment, avec l’ajout de productions photovoltaïques, ce taux d’approvisionnement en EnR peut être bonifié.

### 3. Résultats / Comparaison Critères économiques

L'étude des consommations d'énergies est importante pour savoir si un scénario est plus avantageux qu'un autre, mais l'aspect financier est un facteur de décision tout aussi primordial.

Sur la base des éléments de stratégie d'approvisionnement, les différents coûts des scénarii (investissements, maintenance, consommation d'énergie, remplacement de certains éléments ...) ont été estimés pour proposer un ordre de grandeur des coûts engendrés. Ils sont présentés en synthèse dans les tableaux et graphes suivants. Le scénario PV a été traité séparément car il peut être combiné à tous les scénarii.

Certaines solutions étant innovantes, notamment la géothermie, les coûts présentés ici possèdent intrinsèquement une incertitude relativement importante. L'idée n'est pas d'approcher le chiffrage exact mais de refléter la tendance d'écart entre les différentes solutions.

Quelle que soit la stratégie d'approvisionnement, le fait d'avoir des besoins optimisés permet de réduire les coûts, notamment grâce à :

- Des besoins plus faibles
- Un investissement plus faible (moins de puissance nécessaire)
- Un recours plus important aux énergies renouvelables (qui sont moins coûteuses dans le temps que la consommation de gaz et d'électricité en provenance des réseaux nationaux).

Voici une première estimation des investissements pour les différents systèmes à mettre en place :

<b>Synthèse économique</b>	<b>Coût investissement (P1)</b>	<b>Coût Annuel (P2)</b>	<b>Coût global sur 20 ans (P3)</b>	<b>TRI sur 20 ans</b>
<b>Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment</b>	14 857 k€	6 871 k€	152 287 k€	-
<b>Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde<sup>1</sup> avec appoint gaz</b>	15 000 k€	6 951 k€	154 010 k€	9 ans
<b>Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz</b>	24 837 k€	8 344 k€	191 721 k€	Pas rentable
<b>Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde<sup>2</sup> avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</b>	18 598 k€	6 451 k€	147 618 k€	8 ans
<b>Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</b>	28 435 k€	7 813 k€	184 696 k€	Pas rentable
<b>Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie</b>	21 491 k€	6 391 k€	149 301 k€	13 ans

Figure 37 : Comparaison des résultats obtenus au niveau des indicateurs économiques pour les différents scénarii étudiés – Cas de base

<sup>1 2</sup> La géothermie profonde mobilisant les aquifères de l'Albien-Néocomien est subventionnée par les Fonds Chaleur, dans notre cas il est possible d'être subventionné à hauteur de 9€/MWh générés sur 20 ans. Cette subvention a été intégrée à l'étude. A priori, la mobilisation des aquifères du Dogger n'est plus subventionnée car considérée comme déjà suffisamment exploitée.

Les coûts d'investissement des différents scénarii sont à regarder en relatif (les équipements communs à toutes les solutions ne sont pas pris en compte)

Variantes :

<b>Synthèse économique – Variante 1</b>	<b>Coût investissement (P1)</b>	<b>Coût Annuel (P2)</b>	<b>Coût global sur 20 ans (P3)</b>	<b>TRI sur 20 ans</b>
<i>Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment</i>	15 613 k€	8 395 k€	183 516 k€	-
<i>Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz</i>	15 000 k€	8 323 k€	181 464 k€	2 ans
<i>Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz</i>	24 837 k€	10 004 k€	224 926 k€	Pas rentable
<i>Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	18 598 k€	7 473k€	168 066 k€	4 ans
<i>Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	28 435 k€	9 101 k€	210 450 k€	Pas rentable
<i>Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie</i>	22 549 k	7 865 k€	179 852 k€	12 ans

<b>Synthèse économique – Variante 2</b>	<b>Coût investissement (P1)</b>	<b>Coût Annuel (P2)</b>	<b>Coût global sur 20 ans (P3)</b>	<b>TRI sur 20 ans</b>
<i>Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment</i>	13 767 k€	5 408 k€	121 926 k€	-
<i>Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz</i>	15 000 k€	5 622 k€	127 449 k€	Pas rentable
<i>Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz</i>	24 837 k€	6 880 k€	162 439 k€	Pas rentable
<i>Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	18 598 k€	5 289 k€	124 372 k€	16 ans
<i>Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	28 435 k€	6 525 k€	158 939 k€	Pas rentable
<i>Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie</i>	19 549 k€	4 931 k€	118 173 k€	11 ans

Figure 38 : Résultats variantes : indicateurs économiques

Si l'on considère le cas de base, seuls les scénarii n°2 et 4, basés sur la géothermie profonde, et le scénario n°6 basé sur la biomasse présentent des **temps de retours sur investissement** intéressants.

**La géothermie profonde seule (scénario n°3) n'est plus rentable si l'on considère que l'activité commerciale sur la ZAC s'apparente à de l'entreposage (variante 2).**

Le **coût global sur 20 ans** inclut le coût d'investissement et le coût annuel (coût de l'énergie et de la maintenance) lissé sur 20 ans.

Les graphiques suivants synthétisent le coût global de chaque scénario (cas de base + variantes).

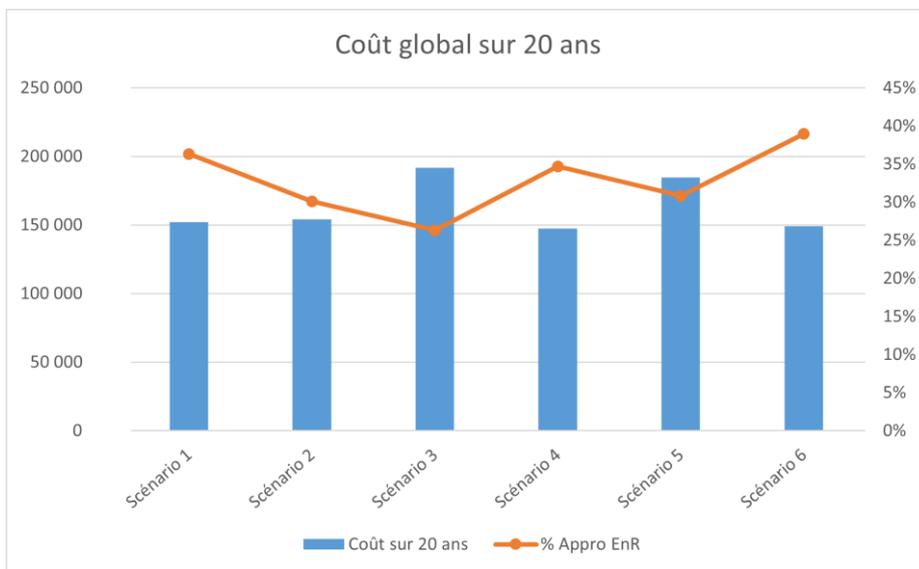


Figure 39 : Comparaison des coûts globaux sur 20 ans des différents scénarii – Cas de base

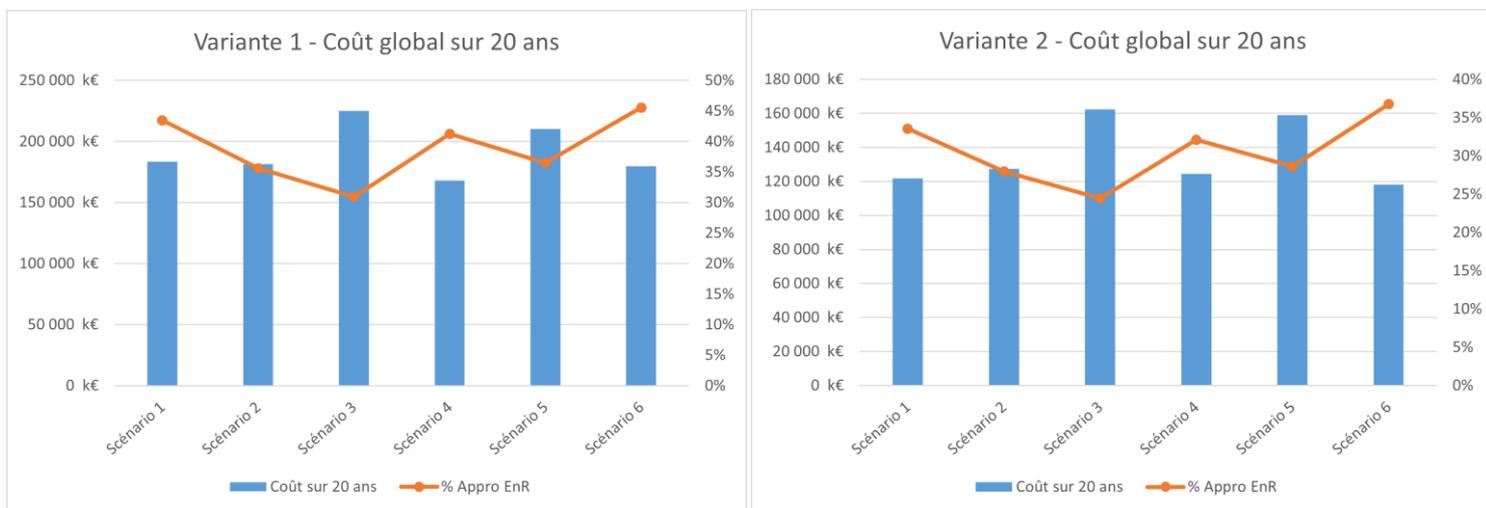


Figure 40 : Résultats des variantes : coût global sur 20 ans

Il apparait que les scénarii n°1, 4 et 6 présentent les coûts globaux sur 20 ans les plus faibles.

**Au regard de ces résultats, et du Temps de Retour sur Investissement (TRI), les scénarii n°4 et 6 semblent être les plus avantageux sur le plan économique, toutes variantes énergétiques confondues.**

## 4. Résultats / Intégration du solaire photovoltaïque

Il a été choisi de présenter ici uniquement les résultats liés au cas de base de besoins énergétiques, afin de ne pas surcharger le rapport. L'exercice a néanmoins été réalisé pour les variantes 1 et 2, et les conclusions sont identiques à la synthèse ci-après.

Selon les scénarii, la consommation d'électricité ne sera pas la même en fonction des différents équipements mis en place pour la production de chaud et de froid.

Voici un tableau récapitulatif des gains projetés sur 20 ans, ainsi que du taux de couverture des besoins électriques du quartier avec l'installation de panneaux photovoltaïques :

	% auto-consommation	Gain financier sur 20 ans	Taux de couverture des besoins du quartier
Scénario 1	70%	9 688 k€	12%
Scénario 2			15%
Scénario 3			14%
Scénario 4			16%
Scénario 5			15%
Scénario 6			13%

Figure 41 : Gain financier et taux de couverture des besoins électriques avec PV

Le coût d'investissement total des scénarii incluant le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est détaillé ci-dessous, en parallèle de la bonification de l'approvisionnement en énergies renouvelables du quartier :

	Investissement avec PV	% Appro EnR sans PV	% Appro EnR avec PV
Scénario 1	24 857 k€	36%	42%
Scénario 2	25 000 k€	30%	37%
Scénario 3	34 837 k€	26%	33%
Scénario 4	28 598 k€	35%	42%
Scénario 5	38 435 k€	31%	38%
Scénario 6	31 491 k€	39%	45%

Figure 42 : Investissement total et % approvisionnement en EnR avec PV

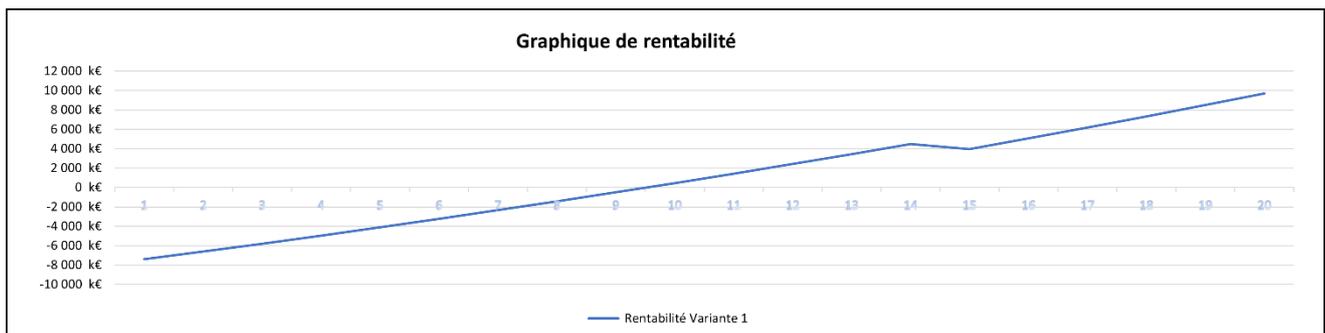


Figure 43 : Rentabilité de l'installation PV

La mise en place des productions solaires photovoltaïques est un investissement couteux mais extrêmement favorable sur le moyen/long terme. Dans le cas de la ZAC Du Triangle de Gonesse, il faudra environ **10 ans** pour avoir un retour sur investissement positif.

Par ailleurs, cet apport énergétique est un véritable avantage dans l'économie électrique au vu de la capacité d'autoconsommation du quartier. Cela permettrait l'intégration d'une composante de **stabilité importante dans le coût d'approvisionnement** en électricité, et une **amélioration de l'approvisionnement en énergies renouvelables** du quartier.

## 5. Résultats / Critère environnemental d'impact Carbone

Voici une première approche quant à l'impact Carbone lié à la consommation énergétique de chaque scénario, suivant que l'on considère une installation photovoltaïque ou non :

<b>Synthèse Carbone</b>	<b>Impact carbone annuel - sans PV</b>	<b>Impact carbone annuel - avec PV</b>
<b>Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment</b>	1 649 teqCO2	1 555 teqCO2
<b>Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz</b>	1 879 teqCO2	1 745 teqCO2
<b>Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz</b>	2 025 teqCO2	1 524 teqCO2
<b>Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</b>	1 720 teqCO2	1 587 teqCO2
<b>Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</b>	1 858 teqCO2	1 725 teqCO2
<b>Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie</b>	1 626 teqCO2	1 518 teqCO2

Figure 44 : Comparaison des impacts carbone des différents scénarii étudiés avec et sans PV – Cas de base

Si l'on considère les scénarii seuls, sans intégration de panneaux photovoltaïques :

Dans tous les scénarii, une partie des besoins est apportée par le réseau électrique, à l'impact carbone élevé (cf. Figure 29).

Le troisième scénario (géothermie sur sondes) produit davantage de carbone que le second (géothermie profonde). Cela s'explique par des consommations en énergie finale (électricité) plus importantes dans le cas du scénario n°3, dues à un rendement légèrement plus faible. En effet, la température de l'eau puisée par une installation de géothermie sur sondes est moins élevée (car provenant d'une profondeur moins importante), ce qui induit une dépense d'énergie de la PAC plus importante pour élever l'eau à la température nécessaire au fonctionnement de l'installation.

Enfin, la biomasse (scénario n°4) a l'impact carbone le plus faible et représente donc une production d'énergie intéressante sur cet aspect.

*A noter qu'en termes d'impact sanitaire, le recours à la Biomasse est également à mesurer à la lumière des impacts sur la qualité de l'air de cette énergie (émission de particules fines notamment).*

Si l'on considère l'intégration de panneaux photovoltaïques :

De manière générale, l'intégration de panneaux solaires photovoltaïques avec autoconsommation permet de **réduire l'impact carbone** de l'énergie électrique consommée par rapport à celle du réseau.

**Les scénarii n°3 et 6 présentent les impacts carbone les plus faibles. Le scénario n°4 quant à lui n'est plus autant pénalisé et devient l'un des systèmes les moins producteurs de carbone.**

Etude des variantes suivant le critère environnemental d'impact carbone :

<b>Variante 1- Synthèse Carbone</b>	<b>Impact carbone annuel - sans PV</b>	<b>Impact carbone annuel - avec PV</b>
<i>Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment</i>	1 992 teqCO2	1 916 teqCO2
<i>Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz</i>	2 384 teqCO2	2 249 teqCO2
<i>Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz</i>	2 632 teqCO2	2 034 teqCO2
<i>Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	2 114 teqCO2	1 982 teqCO2
<i>Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	2 348 teqCO2	2 215 teqCO2
<i>Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie</i>	1 965 teqCO2	1 874 teqCO2

<b>Variante 2 - Synthèse Carbone</b>	<b>Impact carbone annuel - sans PV</b>	<b>Impact carbone annuel - avec PV</b>
<i>Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment</i>	1 261 teqCO2	1 163 teqCO2
<i>Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz</i>	1 415 teqCO2	1 284 teqCO2
<i>Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz</i>	1 513 teqCO2	1 128 teqCO2
<i>Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	1 309 teqCO2	1 179 teqCO2
<i>Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	1 401 teqCO2	1 271 teqCO2
<i>Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie</i>	1 242 teqCO2	1 130 teqCO2

Figure 45 : Résultats des variantes : impact carbone

Dans le cas de la variante 1, basée sur une activité commerciale de la ZAC majorée, l'impact carbone des scénarii est plus important que pour le cas de base, du fait de l'accroissement des consommations énergétiques.

A l'inverse, l'impact carbone des scénarii dans le cas de la variante 2 est plus faible que pour le cas de base.

De la même manière, l'intégration de panneaux solaires photovoltaïques avec autoconsommation permet de **réduire l'impact carbone** de l'énergie électrique consommée par rapport à celle du réseau, et donc l'impact carbone global des systèmes étudiés.

**Les mêmes conclusions s'appliquent qu'au cas de base : en considérant l'intégration d'une installation photovoltaïque, les scénarii n°3 et 6 présentent les impacts carbone les plus faibles. Le scénario n°4 reste également l'une des solutions les moins productrices de carbone.**

## 6. Synthèse des résultats

Les résultats de l'approche multicritère présentés précédemment sont résumés dans le tableau ci-dessous (cas de base). Ils intègrent l'approche avec ou sans panneaux photovoltaïques.

	Synthèse énergétique						Synthèse économique				Synthèse Carbone	
	Consommation Energie primaire MWhep/an	Consommation Energie finale MWhef/an	Achat Energie finale MWhef/an - Sans PV	Achat Energie finale MWhef/an - Avec PV	% utilisation EnR - Sans PV	% utilisation EnR - Avec PV	Coût Investissement - Sans PV	Coût Investissement - Avec PV	Coût global sur 20 ans - Sans PV	Coût global sur 20 ans - Avec PV	Impact carbone annuel - Sans PV	Impact carbone annuel - Avec PV
<i>Scénario n°1 - Référence - Aérothermie par bâtiment</i>	53 842 MWh	23 410 MWh	23 410 MWh	20 608 MWh	36%	42%	14 857 k€	14 857 k€	152 287 k€	208 326 k€	1 649 teqCO2	1 555 teqCO2
<i>Scénario n°2 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz</i>	52 153 MWh	27 337 MWh	27 337 MWh	24 534 MWh	30%	37%	15 000 k€	25 000 k€	154 010 k€	193 894 k€	1 879 teqCO2	1 745 teqCO2
<i>Scénario n°3 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz</i>	56 041 MWh	29 693 MWh	29 693 MWh	26 892 MWh	26%	33%	24 837 k€	34 837 k€	191 721 k€	236 010 k€	2 025 teqCO2	1 524 teqCO2
<i>Scénario n°4 - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	47 944 MWh	24 745 MWh	24 745 MWh	21 943 MWh	35%	42%	18 598 k€	28 598 k€	147 618 k€	182 848 k€	1 720 teqCO2	1 587 teqCO2
<i>Scénario n°5 - Réseau de chaleur par géothermie sur sondes avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel - Gonesse</i>	51 616 MWh	26 970 MWh	26 970 MWh	24 168 MWh	31%	38%	28 435 k€	38 435 k€	184 696 k€	224 089 k€	1 858 teqCO2	1 725 teqCO2
<i>Scénario n°6 - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie</i>	51 086 MWh	23 025 MWh	23 025 MWh	20 223 MWh	39%	45%	21 491 k€	31 491 k€	149 301 k€	196 603 k€	1 626 teqCO2	1 518 teqCO2

Figure 46 : Synthèse de l'analyse multicritère - avec et sans PV

## VII. Conclusion

En cohérence avec le Code de l'Environnement, l'objectif principal de la présente étude était d'identifier les solutions techniques d'approvisionnement énergétique, intégrant une part significative d'énergies renouvelables et viables économiquement pour les opérateurs, pour les futures opérations de la ZAC du Triangle de Gonesse et d'en étudier leur impact environnemental sous plusieurs critères, constituant ainsi une aide à la décision pour le Maître d'Ouvrage.

Dans cette optique, après une analyse de l'état initial des énergies renouvelables disponibles et mobilisables sur site, une série de scénarii d'approvisionnements énergétiques alternatifs jugés les plus faisables et adaptés ont été identifiés. Ces scénarii prévoient l'exploitation potentielle de plusieurs types d'énergies renouvelables : un réseau de chaleur, la géothermie, le solaire photovoltaïque, l'aérothermie et la biomasse. Nous avons notamment étudié la possibilité de combiner la production de chaleur par réseau urbain avec l'aérothermie et le solaire photovoltaïque.

L'enjeu était de comparer, le plus objectivement et indépendamment possible, les différents scénarii d'approvisionnement alternatifs envisageables pour la ZAC. Ainsi, les scénarii ont été comparés selon une analyse multicritère suivant des critères économiques, énergétiques et environnementaux.

Au vu des résultats de notre étude, deux systèmes apparaissent comme les solutions les plus pertinentes suivant les critères étudiés : celui du **Scénario n°4** - Réseau de chaleur par géothermie profonde avec appoint gaz et extension/raccordement au réseau de chaleur de Villiers le Bel – Gonesse, et celui du **Scénario n°6** - Réseau de chaleur par chaufferie biomasse et aérothermie par bâtiment.

Si l'on considère le système de chaufferie par biomasse, il apparaît comme une solution pertinente au regard des critères étudiés. Toutefois, ce système nécessite une surface importante dédiée à l'installation de la chaufferie et du silo de stockage du bois, qu'il est nécessaire d'anticiper. Les résultats de l'étude sont aussi à contrebalancer vis à vis des impacts, notamment logistiques, liés à l'approvisionnement en combustible bois.

D'autre part, en s'attachant à la démarche EnR'Choix, dans un souci de mutualisation de l'énergie, il convient de privilégier autant que possible le raccord à un réseau de chaleur existant. Le **déploiement du réseau de chaleur existant de Villiers le Bel - Gonesse** sur la ZAC, connecté à un **nouveau réseau de chaleur local par géothermie** serait donc une opportunité intéressante pour la performance énergétique et environnementale des ouvrages du quartier. La création de ce réseau interconnecté permettrait une bonification du taux d'EnR et de l'impact carbone du réseau de Villiers le Bel – Gonesse.

Il est important de noter que la **faisabilité technico-économique telle que présentée dans ce rapport sera à nuancer par la suite**, au regard de la **commercialisation effective** et notamment du **type d'activité commerciale qui sera engagée** sur la ZAC. En effet, l'étude des variantes de besoins énergétiques a montré que certaines solutions ne sont plus viables dès lors que l'on considère des activités aux besoins déséquilibrant l'assiette globale de consommations énergétiques du quartier.

Pour ce qui est des résultats économiques liés à la **géothermie sur sondes**, ceux-ci seront à regarder à la lumière des résultats du test de réponse thermique qui pourra être réalisé.

Par ailleurs, l'ajout de panneaux solaires photovoltaïques à l'échelle du quartier représente une production d'énergie renouvelable locale particulièrement intéressante pour la production locale d'électricité indépendamment des solutions centralisées traditionnelles. En effet, en intégrant de la production solaire photovoltaïque et donc une part importante d'autoconsommation aux différents scénarii, les indicateurs énergétiques et environnementaux sont plus performants. Cela permet également l'intégration d'une composante de stabilité importante dans le coût d'approvisionnement en électricité.

Les besoins énergétiques globaux du projet sont estimés à terme à environ 36 763 MWh/an (chaud, froid, électricité), décomposés de la manière suivante : 8 353 MWh/an de chaleur, 11 677 MWh/an de froid et 16 733 MWh/an pour les autres usages. Le potentiel d'approvisionnement en énergies renouvelables du quartier permet d'envisager un taux de couverture important pour chacun des usages. Ainsi, en fonction des différentes stratégies d'approvisionnement et des différents niveaux de besoins énergétiques, il est possible d'atteindre jusqu'à près de 50 % de couverture par les énergies renouvelables.

Il est possible de mobiliser des subventions au titre du Fonds chaleur (dispositif Etat-Région-Ademe) ou des programmes de subvention spécifiques à la mise en place de solutions à partir d'énergies renouvelables notamment pour la mise en place d'installations photovoltaïques ou le raccordement à un réseau de chaleur urbain. Ces dernières permettent l'encouragement à l'installations d'énergies propres.

**A l'issue de l'analyse menée, telle que présentée ci-avant, plusieurs solutions de recours aux énergies renouvelables sont mobilisables dans le cadre de l'aménagement du quartier du Triangle de Gonesse, à ce stade du projet.**

Il est à noter que le **scénario n°4, couplé à une installation photovoltaïque**, permettrait de valoriser une grande quantité d'énergies renouvelables (géothermie, solaire) en couvrant les besoins du quartier en chaleur (chauffage/Eau Chaude Sanitaire) ainsi qu'en électricité. Cela permettrait également l'intégration d'une composante stable long terme dans le coût de chaleur et d'électricité pour le quartier. **Toutefois, comme l'a montré l'étude de variantes énergétiques, la viabilité de ce système dépendra de la commercialisation et des activités économiques réellement engagées sur la ZAC.**

Le **scénario n°6, basé sur la biomasse et bonifié d'une installation photovoltaïque**, présente également des avantages indéniables sur le volet économique et environnemental.